

ISSN : 0153-8756

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

# ecologia mediterranea

revue d'écologie terrestre et limnique



TOME XV 1989

Fascicule 3/4

Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme, IMEP (case 461)  
Avenue Escadrille Normandie-Niemen, F 13397 Marseille Cedex 13

## ECOLOGIA MEDITERRANEA

Université d'Aix-Marseille III  
Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme  
Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléocécologie (Case 461)  
Avenue escadrille Normandie-Niemen  
F 13397 MARSEILLE Cedex 13

*Directeur de la publication*  
P. QUEZEL

*Editor*

*Secrétaire général*  
H. BRISSE

*Co-editor*

*Comité de rédaction*  
L. BIGOT, R. LOISEL, N. POINSOT-BALAGUER, L. TESSIER

*Editorial board*

*Trésorier*

J.-L. de BEAULIEU

*Treasurer*

*Equipe technique*  
C. GABOURIAUT, C. GOEURY

*Technical board*

### COMITE DE LECTURE

AKMAN, Y., Ankara Universiti-Fen Facultesi-Biyoloji Bolumu, Ankara, Turquie.  
AUSSENAC, G., INRA, CNRF, Unité de Recherches en Bioclimatologie Forestière, Champenoux, F 54280 Seichamps.  
BARBAULT, R., ENS, 46 rue d'Ulm, F 75230 Paris Cedex 05.  
BARBERO, M., UAM III, Faculté de Saint Jérôme, Laboratoire de Botanique et Ecologie Méditerranéenne (Case 461), Avenue escadrille Normandie-Niemen, F 13397 Marseille Cedex 13.  
BIROT, Y., INRA, Département des Recherches Forestières, Avenue Vivaldi, F 84000 Avignon.  
BONIN, G., UAM I, Laboratoire de Biosystématique, Faculté de Saint Jérôme, F 13397 Marseille Cedex 13.  
BOTTEMA, S., Biologisch-Archaeologisch Institut, Rijksuniversiteit Groningen, Poststraat 6, NL-9712, Groningen, Pays-bas.  
BOUDOURESQUE, C.-F., UAM II, Faculté des Sciences de Luminy, LBMEB, (Case 901), F 13288 Marseille Cedex 9.  
BOUVAREL, P., Thibompré, F 88480 Saint Rémy.  
CATARINO, F.M., Museu, Laboratorio Jardim Botânico, Faculdade de Ciências, rua da Escola Politecnica, P 1294 Lisboa Codex.  
CHAMPEAU, M., UAM I, Faculté des Sciences Saint Charles, 3 place Victor Hugo, F 13003 Marseille Cedex.  
COSTA, M., Facultad de Farmacia, Departamento de Botanica, Avenida Blasco Ibanez 13, 46010 Valencia, Espagne.  
DAGET, P., Université de Montpellier II, Institut de Botanique, Laboratoire de Systématique et Botanique méditerranéennes, 163 rue Auguste Broussonet F 34000 Montpellier.  
DANIN, A., The Hebrew University of Jerusalem, Department of Botany, Jerusalem, Israël 91904.  
DEBUSSCHE, M., CNRS-CEPE, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Route de Mende, BP 5051, F 34033 Montpellier Cedex.  
DJBAILL, S., Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, INA, BP 9, Dar el-Beida, Alger, Algérie.  
DODD, R.S., University of California, Forest Products Laboratory Richmond, Berkeley, CA-94804, Etats Unis d'Amérique.  
Du MERLE, P., INRA, Station de Zoologie Forestière, Avenue Vivaldi, F 84000 Avignon.  
GHABBOUR, S., Institut of African Research and Studies, Department of Natural Resources, Cairo University, Giza, Egypte.  
GIUDICELLI, J., UAM III, Faculté de Saint Jérôme, Laboratoire d'Ecologie Animale, Avenue escadrille Normandie-Niemen, F 13397 Marseille Cedex 13.  
GONZALEZ-BERNALDEZ, F., Universita Autonomia de Madrid, Facultad de Ciencias, Catedra de Ecologia, Ciudad Universitaria de Canto Blanco, 28049 Madrid, Espagne.  
LAMOTTE, M., ENS, Laboratoire de Zoologie, 46 rue d'Ulm, F 75230 Paris 05.  
LEFEUVRE, J.-C., MNHN, Laboratoire de l'Evolution des Systèmes Naturels et Modifiés, 57 rue Cuvier, F 75231 Paris Cedex 13.

LEMEE, G., 6 Avenue Garennière, F 94260 Fresnes.  
LOWE, J.J., Royal Holloway and Bedford New College, Department of Geography, Egham, Surrey TW20 0EX, Royaume Uni.  
LUMARET, R., CNRS-CEPE, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Route de Mende, BP 5051, F 34033 Montpellier Cedex.  
MARGARIS, N.S., University of the Aegean, Department of Environmental Studies, 17 Karadotni str., 81100 Mytilène, Grèce.  
M'HIRIT, O., Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Division de Recherches et d'Expérimentations Forestières, Charia Omar ibn El-Khattab, BP 763, Rabat (Agdal), Maroc.  
MUNAUT, A.V., Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Palynologie et Dendrochronologie, 4 Place Croix-du-Sud, B 1348 Louvain-la-Neuve.  
NAHAL, I., Université d'Alep, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Botanique, Alep, Syrie.  
OECHEL, W., San Diego State University, Colleges of Sciences, Department of Biology, San Diego, CA 92182-0057, Etats Unis d'Amérique.  
OZENDA, P., Université Joseph Fourier, Laboratoires d'Ecologie Végétale, BP 53 X, F 38041 Grenoble Cedex.  
PEDROTTI, F., Università degli Studi di Camerino, Dipartimento di Botanica ed Ecologia, Via Pontoni 5, I 62032 Camerino.  
PIUSSI, P., Università degli Studi di Firenze, Istituto di Selvicoltura, Via S. Bonaventura 13, I 50145 Firenze.  
PONS, A., UAM III, Faculté des Sciences de Saint Jérôme, Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie (Case 451), F 13397 Marseille Cedex 13.  
RASMONT, P., Université de Mons, Laboratoire de Zoologie, Avenue Maistriau, B 7000 Mons.  
RIOUX, J.-A., Université de Montpellier, Faculté de Médecine, Laboratoire d'Ecologie Médicale et Pathologie Parasitaire, 163 rue Auguste Broussonet, F 34000 Montpellier.  
RIVAS-MARTINEZ, S., Universidad Complutense, Facultad de Farmacia, Departamento de Botanica, Madrid 3, Espagne.  
ROMANE, F., CNRS-CEPE, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Route de Mende, BP 5051, F 34033 Montpellier Cedex.  
RUNDEL, P.W., University of California, Laboratory of Biomedical and Environmental Sciences, 900 Veteran Avenue, Los Angeles, CA 90024-1786, Etats Unis d'Amérique.  
SPECHT, R.L., The University of Queensland, Botany Department, St Lucia, Queensland 4072, Australie.  
TERRADAS, J., Universitat Autonomia de Barcelona, Centre de Recerca Ecologica i Aplicacions Forestals, 08193 Bellaterra (Barcelona), Espagne.  
TAYLOR, H.C., Botanical Research Unit, PO Box 471, 76000 Stellenbosch, République Sud-Africaine.  
VAN DEN MAAREL, E., Växthnologiska Institutionen, Box 559, S 75122 Uppsala 1, Suède.

### ABONNEMENTS

Pour la France, les tarifs d'abonnements incluent les frais de port. Pour l'étranger, le port est à ajouter.

Abonnement 1989 (Tome XV)	France 450 F
Abonnement 1990 (Tome XVI)	..... Etranger 500 F
Abonnement 1991 (Tome XVII)	

La collection complète, incluant les tomes XV et XVI, est facturée 1.500 FF.

Tous les fascicules d'*Ecologia Mediterranea* sont disponibles. Les numéros antérieurs à 1989 sont facturés forfaitairement 200 FF par année.

Les commandes doivent être adressées au Trésorier de la revue, accompagnées du paiement par chèque ou mandat libellé au nom du :

Régisseur d'avances de l'U.D.E.S.A.M.

# ecologia mediterranea

revue d'écologie terrestre et limnique



## Etude des biomasses souterraines et aériennes développées par certaines espèces forestières, fruitières et fourragères cultivées en Tunisie centrale

N. AKRIMI\*  
E. STEEN\*\*  
A. M' CHAREK\*  
A. JELLALI\*\*\*

### RESUME

Le développement et la dynamique de la biomasse racinaire ont été étudiés dans cinq essais expérimentaux de plantations d'arbres établies dans le cadre d'un projet tuniso-suédois "Lutte contre la désertification" durant les années 1984-1989. La biomasse aérienne a également fait l'objet d'étude dans la dernière phase du projet. Deux méthodes ont été utilisées pour l'échantillonnage des racines pour les niveaux 0-40 cm :

1- Prélèvement de sol au moyen d'un perforateur métallique creux.

2- Mise de la tranche prélevée dans des sacs en filet et remise dans les trous initiaux ("the ingrowth core method"). Dans certains cas l'échantillonnage a porté sur 60 cm de profondeur. De plus, l'excavation totale de quelques arbres et arbustes a été faite cinq ans après la plantation.

La biomasse racinaire atteint 8-10 t/ha dans les plantations arboricoles âgées de 25 ans et 5-6 t/ha dans celles âgées de 3 ans. La biomasse racinaire atteint 4-5 t/ha dans les parcours naturels. La biomasse racinaire de l'horizon 0-40 cm des plantations irriguées d'olivier et d'amandier est supérieure à celle des plantations non-irriguées : 5 et 2,5 t/ha respectivement. La biomasse racinaire a augmenté plus rapidement dans les parcelles semées avec *Stipa lagascae* R. et S., 3-5 t/ha après une année, que dans les nouvelles plantations d'arbres et d'arbustes. La biomasse racinaire (0-40 cm) la plus élevée a été développée par *Acacia cyanophylla* Lindl., suivi par *Eucalyptus occidentalis* Endl. (après 5 ans). La biomasse, moins importante, développée par *Atriplex nummularia* Lindl. et *Pinus halepensis* Mill. dans la couche concernée, est probablement compensée par une plus grande densité des racines en profondeur que celle des autres espèces. Les racines fines (<2 mm) constituent 40-50 % de la biomasse racinaire totale. *Acacia* et *Eucalyptus* se distinguent par un système de racines fines plus étendu horizontalement que celui des autres espèces. La biomasse racinaire développée après la saison pluvieuse est le double de celle développée après la saison sèche. La différence des biomasses racinaires est moins importante entre les différents sites qu'entre les différentes espèces, la structure du sol étant à peu près la même dans les différents sites. La biomasse racinaire présente 25-30 % de la biomasse totale (aérienne et souterraine) dans les parcelles nouvellement installées.

La biomasse aérienne des parcours naturels a été estimée entre 200 et 800 kg/ha. Dans les plantations de 500 plants/ha, elle a été évaluée entre 2 et 8 t/ha. La production annuelle de celle-ci a été estimée entre 500 et 1500 kg/ha.

### SUMMARY

The growth and dynamics of root biomass were studied in five field trials and in established stands of trees during 1984-1989 in a Tunisian-Swedish project "Measures against desertification". To some extent above ground biomass was studied as well. Two methods were used for root sampling : soil coring (0-40 cm, in some cases 0-60 cm) and the ingrowth core method in mesh bags (0-40 cm).

After 5 years, the root systems of individual trees and shrubs were totally excavated.

Root biomass (0-40 cm) was 8-10 t/ha in old stands of *Acacia*, *Eucalyptus occidentalis* Endl. and *Pinus halepensis* Mill., 5-6 t/ha in new stands (3 years old plantations) and 4-5 t/ha in old grasslands. The amount of root mass (0-40 cm) was greater in irrigated stands of olives than in rainfed ones almonds, 2,5 and 5 t/ha respectively. Root biomass increased faster in newly sown plots of some grasses (*Stipa lagascae* R. et S.), i.e. 3-5 t/ha after one year, than in new plantations of trees and shrubs. After 5 years *Acacia cyanophylla* Lindl. and the most root the other species.

Fine roots (<2 mm) accounted for 40-50 % of the total root mass. The fine root systems of *Acacia* and *Eucalyptus* were horizontally more dispersed compared with the other species.

During most years root biomass was twice as high after the rain period than after the dry period. Differences in root biomass were smaller between sites than between species though the texture was the same (coarse - fine sand) at all sites. Root biomass accounted for 25-30 % of the total biomass (above and below ground parts) five years after planting according to the total-excavation data. There was little above-ground biomass in natural grassland (ca 200-800 kg/ha). After five years in the planted trials it was 2-8 t/ha where the stocking rate was 500 seedlings per hectare. Annual

\*Institut des Régions Arides, 4419 Médénine, Tunisie.

\*\*Université des Sciences Agronomiques d'Uppsala, Département de Recherches sur l'Ecologie et l'Environnement, S 750 07 Uppsala, Suède.

\*\*\*Commissariat Régional au Développement Agricole, 9100 Sidi Bouzid, Tunisie.

*production was roughly estimated at 500-1500 gk/ha over the first five years.*

**MOTS CLES :**

*Erosion hydrique - Montagne - Parcours - Piedmont - Plaine - Plantations fourragères - Racines - Zones arides.*

## I - INTRODUCTION

Dans les régions arides la végétation naturelle est souvent surexploitée par le pâturage et les coupes d'arbres et d'arbustes. Cette réduction très forte du couvert végétal est de plus en plus aggravée par l'érosion éolienne et hydrique. Si le sud tunisien est dominé par l'érosion éolienne qui se traduit par divers processus d'ensablement, en revanche au centre du pays les deux types d'érosion sont aussi fréquents et aussi graves l'un que l'autre. La plaine de Hichria avec les montagnes de Djebel El Kebar dans le Gouvernorat de Sidi Bouzid constituent l'un des exemples représentatifs du centre du pays.

L'objet de cette note est la présentation du travail mené au sein d'un projet de recherche portant sur la conservation des eaux et des sols et réalisé dans cette zone dans le cadre de la coopération tuniso-suédoise. Démarré en 1984 et étalé sur six années, le projet vise l'étude des modalités d'établissement de la végétation axée principalement sur l'étude de son comportement racinaire.

Différentes espèces arborescentes, arbustives et herbacées parmi les plus couramment utilisées dans les travaux de conservation des eaux et des sols et dans les aménagements pastoraux en Tunisie ont été installées dans six sites expérimentaux. Le développement des racines, estimé sur la base des biomasses vivantes des racines, a fait l'objet de suivi régulier selon un échantillonnage adéquat. La biomasse aérienne a été estimée dans quelques uns des essais. La biomasse racinaire de vieilles plantations installées antérieurement au démarrage des essais a également été estimée. L'évolution du profil hydrique du sol en relation avec le développement des racines a aussi été étudiée dans quelques uns des essais ainsi que dans quelques vieilles plantations.

## II - OBJECTIFS

Les principaux objectifs du projet "Réinstallation du couvert végétal" sont les suivants :

- Quantifier la production de biomasse aérienne et souterraine après plantation ou semis d'arbres, d'arbustes et d'herbes dans six essais couvrant le plateau central, le versant de montagne et le piedmont de la région.
- Estimer la biomasse des racines dans quelques vieilles plantations arboricoles de la région.
- Estimer l'influence de la biomasse racinaire de quelques espèces sur l'infiltration et l'écoulement de l'eau dans le sol.
- Tester le comportement des différentes espèces vis-à-vis de l'érosion hydrique et leur aptitude aux travaux de conservation du sol.

## III - MATERIELS ET METHODES

### 1- Zone d'expérimentation

La zone d'expérimentation est située dans le Gouvernorat de Sidi Bouzid, 120 km au sud de Kairouan, latitude 35 N, longitude 9 E. Les essais ont été installés dans la plaine de Hichria située 35 km au sud-ouest de la ville de Sidi Bouzid, au niveau des versants sud et est du piedmont de Djebel El Kebar (LONG, 1984). La pluviométrie annuelle du plateau est 240 mm, l'évapotranspiration potentielle est 1200 mm et l'insolation moyenne est 3200 h/an (GAUSSEN et VERNET, 1950 ; HALLBERG et al., 1985).

Le substrat est d'origine calcaire (Crétacé, Trias) couvert par des sols squelettiques de type lithosols (SOLIGNAC, 1931 ; CASTANY, 1947 ; DEGALLIER et DELGA, 1938). Le piedmont est couvert par des sédiments amenés par l'eau et le plateau est couvert par des sables et des limons

éoliens. Le sol de la plaine est un "halic xérosol" ou un "calcic fluvisol" selon la classification des sols F.A.O (RAFIQ, 1979). Le pH est compris entre 7,5 et 8,0 dans la couche superficielle. Le sol est pauvre en azote, en phosphore et en matière organique. Le bas-fond de la plaine est constitué de sols salins (Tableau 1). Le paysage est caractérisé par de grandes plaines séparées par des montagnes.

Tableau 1 : Caractères chimiques du sol superficiel (0-10 cm) en % du poids de l'échantillon sec.

Site	pH (H <sup>2</sup> O)	pH CaCl <sub>2</sub>	Cond. elect. mmhos/cm	Azote total %	Carb. tot. %	Carb. org. %	Matière organique %	Carb. non org. (carbonates ... ) %	P en mg/100 g	K en mg/100 g
Plaine (semis)	7,9	7,3	4,8	0,056	2,94	0,56	0,96	2,38	1,3	19,7
Plaine (plantation)	7,7	7,4	7,8	0,058	2,28	0,74	1,28	1,54	1,3	16,2
Piedmont	8,5	7,5	0,6	0,056	2,90	0,58	1,00	2,32	1,2	19,0
Sédiments	8,5	7,5	0,9	0,054	1,58	0,29	1,00	1,00	1,5	19,5
Gradins	8,1	7,5	0,6	0,034	2,44	0,44	0,78	2,00	1,1	11,3

Le couvert végétal peu dense est influencé par le pâturage et par la coupe des arbres et des arbustes. Le paysage est sévèrement marqué par les dégâts occasionnés par l'érosion hydrique. Les crêtes et les versants de montagne sont couverts par l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), les piedmonts et les hautes plaines par des buissons très dégradés composés de *Rosmarinus officinalis* L., *Juniperus phoenicea* L., *Rhanterium suaveolens* Desf., *Gymnocapros decander* Forsk., *Artemisia campestris* L., *Genista microcephala* Coss. Dur., *Thymus hirtus* Willd., *Rhus tripartitum* DC., *Cistus libanotis* L. et *Periploca laevigata* Ait. (LE HOUEROU, 1975). Dans les basses plaines il y a des taches de végétation de steppe saline avec *Artemisia herba alba* Asso. et différentes espèces d'*Atriplex* et de *Salsola*. Les plaines sont généralement utilisées pour la céréaliculture et l'oléiculture. Une faible partie est cultivée en irrigué. Autour des villages et des exploitations il existe quelques rideaux d'*Acacia cyanophylla* Lindl. et d'*Eucalyptus occidentalis* Endl. ainsi que des haies d'*Opuntia ficus-indica* Mill.

## 2- Dispositif expérimental

Un dispositif de cinq essais a été installé dans les différents sites. Le premier est un parcours naturel de plaine : il comporte une moitié semée et une moitié non semée - il sera dénommé dans la suite du texte : "essai parcours de plaine". Le second essai, installé lui aussi dans la plaine, comporte des plantations d'arbres et d'arbustes, il sera dénommé "essai plantation de plaine". Le troisième essai a été installé au piedmont de la montagne El Kebar - il sera dénommé "essai piedmont". Le quatrième a été installé en amont des banquettes de conservation des eaux et des sols du Jebel El Kebar où se sont accumulés quelques sédiments sableux - il sera dénommé "essai sédiments". Le cinquième essai a été installé dans des petits gradins aménagés dans le versant Sud de la montagne - il sera dénommé "essai gradins".

### 2.1- Essai "parcours de plaine"

Cet essai comporte cinq traitements avec trois répétitions :

- 1- Parcours naturel non traité (= témoin).
- 2- Parcours naturel, irrigué.
- 3- Parcours naturel, recevant une fumure NPK 20-8-10 de 500 kg/ha.
- 4- Semis en sec de (*Stipa lagascae* R. et S., *Hedysarum spinosissimum* L. et *Plantago albicans* L.
- 5- Semis des mêmes espèces utilisées dans le traitement 4, mais irriguées, avec apport de fumure dans les mêmes conditions que celles du traitement 3 et fertilisation comme dans le traitement 2 et 3. La superficie des parcelles est de 5 x 24 m. L'écartement entre les lignes des espèces semées est de 1 m. Le semis des parcelles a été précédé par un désherbage. Cinquante mm d'eau ont été apportées en une seule fois pendant la saison sèche dans les parcelles irriguées.

### 2.2- Essai "Plantation de plaine"

Cet essai "plaine" porte sur trois espèces : *Acacia cyanophylla* Lindl., *Atriplex nummularia* Lindl. et *Opuntia ficus-indica* Mill. (= *Cactus inermis*). Elles ont été plantées en Novembre 1984 avec un écartement de 3 x 3 m en trois répétitions (72 pieds de chaque espèce). Les jeunes plantes ont été arrosées trois à quatre fois dans les deux premières années pour assurer un bon taux de survie.

### 2.3- Essai "Piedmont"

Il comporte le même dispositif que l'essai "plantation" mais en y incluant deux espèces forestières : *Eucalyptus occidentalis* Endl. et *Pinus halepensis* Mill. et trois espèces fourragères : *Acacia cyanophylla* Lindl., *Atriplex nummularia* Lindl. et l'*Opuntia ficus indica* Mill. Les plants ont été installés dans les mêmes conditions et on subi les mêmes traitements que ceux du second essai.

### 2.4- Essai "Sédiments"

Il comporte les cinq espèces utilisées dans l'essai "piedmont", qui ont été plantées avec un écartement 3 x 3 m dans trois répétitions, à raison de 30 pieds par espèce.

### 2.5- Essai "Gradins"

Pour cet essai situé en versant de montagne, un autre dispositif a du être conçu en raison de la pente élevée et de la nature caillouteuse du terrain, des petits gradins de 0,5 m x 6 m ont été aménagés pour faciliter l'installation de l'essai. Deux pieds de chacune des espèces *Acacia cyanophylla* Lindl., *Eucalyptus occidentalis* Endel. et *Pinus halepensis* Mill., ont été plantés dans chacun des douze gradins soit un total de 24 plants par espèce.

## 3- Prélèvement des racines

Pour l'estimation de la biomasse racinaire, la méthode des filets décrite par FLOWER-ELLIS & PERSSON (1983) et STEEN (1985) a été utilisée. Des trous de 40 cm de profondeur et 7 cm de diamètre sont creusés dans le sol. Les trous sont ensuite remplis par le même sol, qui a été prélevé après l'avoir tamisé et débarrassé des racines et des débris de matière organique. Le procédé de remise en place de l'échantillon est le suivant : des filets de nylon cylindriques (maille de 5 mm) sont appliqués sur des tubes plastiques de même diamètre, et sont placés dans les trous. Les tubes sont remplis avec l'échantillon de sol prélevé par tranches successives de 5 cm de manière à permettre son compactage au moyen d'une cheville en bois. Après remplissage le tube est retiré doucement, en laissant le filet avec le sol compact dans le trou.

Dans l'essai "Parcours de plaine" les filets ont été disposés en lignes avec un intervalle de 1 m dans le témoin (parcours non traité). Dans les parcelles semées, deux lignes de filets ont été installées à 20 cm et à 50 cm de la ligne de semis. Dans les essais "Plantation de plaine", "Piedmont" et "Sédiments" les filets ont été installés en 2 rangées situées à 0,30 et à 1 m de la ligne de plantation en faisant correspondre à chaque plant un filet sur chacune des deux rangées et de telle manière que le plant et les deux filets correspondants constituent un alignement perpendiculaire à celui de la ligne de plantation. Dans les gradins les filets ont été placés au niveau de la partie inférieure à 30 cm et 100 cm de chaque côté du tronc. Le nombre de filets utilisé pour chaque prélèvement dans chaque traitement dans l'essai "Parcours de plaine" est de 9 ; dans les autres essais, il est de 6. Au total 3 000 filets environ ont été installés. Les filets ont été ramassés deux fois par an : Mars-Avril et Octobre-Novembre, c'est-à-dire après la saison pluvieuse et après la saison sèche pour les années de 1985-1988.

En plus des essais d'établissement de nouvelles végétations, le suivi et l'évaluation de la biomasse racinaire ont porté également sur des plantations en place âgées de vingt cinq ans de *Pinus halepensis* Mill., d'*Eucalyptus occidentalis* Endl. et d'*Acacia cyanophylla* Lindl. dans Djebel El Kebar en Avril 1985 et en Avril 1986 ainsi que des plantations âgées de 15-20 ans d'oliviers et d'amandiers (en irrigué et en sec) en Avril 1986.

Les échantillons ont été prélevés au moyen d'une foreuse métallique utilisant un compresseur motorisé qui recueille des échantillons de 40 cm de profondeur et de diamètre 7 cm (comme les filets). Les échantillons sont prélevés à 1 et à 2 m de distance des arbres dans les montagnes et dans la plantation d'amandiers et, à 1, à 2 et à 4 m de distances des troncs dans les plantations d'oliviers.

Les arbres et arbustes de trois essais ont fait l'objet d'estimations du diamètre du houppier et de la hauteur.

Toutes les parcelles des essais "piedmont", "sédiments" et "gradins" ont été régulièrement nettoyées manuellement.

En Avril 1989, cinq ans après la plantation, la destruction d'un certain nombre de plants a été opérée dans tous les essais selon un échantillonnage adéquat en vue de déterminer la biomasse aérienne et la biomasse des grosses racines d'*Acacia*, d'*Eucalyptus*, d'*Atriplex* et de *Pinus*. Deux

arbustes ont été pris dans chacun des essais de "piedmont", "sédiments" et "gradins". Dans chaque population une plante du groupe des plus grandes tailles et une plante du groupe des plus petites tailles ont été choisies. La biomasse aérienne a été séparée en tronc, branches et feuilles. Les racines ont été extraites jusqu'à une profondeur de 1,5 m et jusqu'à la distance de 1 m du tronc. La hauteur, le diamètre de base du tronc ainsi que le diamètre à hauteur de poitrine ont été mesurés.

#### 4- Traitement des échantillons de racines

Tous les échantillons de filets et de carottes ont été congelés à -20 °C le plus rapidement possible en attendant leur traitement. Ils ont été retirés du congélateur par groupes correspondant à un jour de travail à la fois. Les échantillons ont été dégelés, séchés et tamisés avec un tamis de maille 1 mm pour séparer les racines du sol. L'utilisation de ce procédé a été facilitée par la texture essentiellement sableuse des échantillons de sol. Ensuite, les racines ont été lavées sur un tamis (1 mm) sous l'eau du robinet et séchées à l'air libre. Les racines mortes, c'est-à-dire les parties noires plus ou moins décomposées ont été éliminées au même titre que la matière organique grossière. Le reste des racines a été considéré comme correspondant à la biomasse racinaire vivante. Les échantillons de racines de vieilles plantations ont été séparés en deux classes, une < 2 mm et une > 2 mm. Dans les nouvelles plantations il y avait seulement des racines appartenant à la classe des racines fines (< 2 mm). Au cours de la troisième année, les grosses racines sont apparues et ont été rangées dans la fraction > 2 mm.

Les échantillons de racines des extractions complètes de l'année 1989 ont été coupés en morceaux, lavés sous l'eau du robinet et séchés. La séparation en différentes classes n'a pas été faite.

Le poids de la biomasse racinaire a été déterminé après séchage à 80°C pendant 48 heures. Le poids ainsi obtenu est surestimé en raison des particules minérales persistant dans les racines. L'estimation du poids de ces particules a été obtenue par calcination de l'échantillon. Ce poids a été déterminé sur la base du poids total des cendres diminué d'une valeur égale à 10 % de la matière sèche totale des racines qui correspond au poids de la matière minérale des racines.

#### 5- Analyses statistiques

Deux à trois échantillons ont été prélevés dans chacune des répétitions à intervalles de temps réguliers. Les échantillons de chacune des répétitions de chacun des traitements ont été groupés entre eux de façon à reconstituer les trois répétitions de chaque traitement. L'analyse de la variance a été ensuite effectuée selon la méthode ANOVA (DAGNELIE, 1975) et la signification statistique dans l'intervalle 95 % a été déterminée.

## IV- RESULTATS

### 1- Plantations forestières en place

Les prélèvements effectués dans les vieilles plantations dont la mise en place avait précédé le projet (Tableau 2) ont fourni les mêmes biomasses racinaires pour les deux années de suivi sauf en ce qui concerne le pin d'Alep qui en a moins fourni la deuxième année que la première année.

Tableau 2 : Biomasse des racines de la plantation forestière âgée de 25 ans. Djebel El Frayo, site montagne, Avril 1985 et 1986. Poids sec, g/m<sup>2</sup> dans la couche superficielle du sol (0-40 cm) à 1 et à 2 m du tronc (nombre de répétitions = 10)  
 $\bar{x}$  = moyenne arithmétique  
 ES = erreur standard

Année	<i>Acacia cyanophylla</i>		<i>Eucalyptus occidentalis</i>		<i>Pinus halepensis</i>		
	1 m	2 m	1 m	2 m	1 m	2 m	
1985	$\bar{x}$	710	400	910	690	980	480
	ES	229	209	305	328	272	103
1986	$\bar{x}$	851	432	718	670	582	242
	ES	224	105		216	146	29
% des racines fines		32	71	51	74	45	71

L'*Acacia cyanophylla* Lindl. et le pin d'Alep avaient développé plus de biomasse racinaire à proximité du tronc (plus à 1 m de distance qu'à 2 m de distance) alors que l'*Eucalyptus occidentalis* Endel. avait sensiblement développé la même biomasse pour les deux distances. Dans les couches superficielles du sol l'*Eucalyptus* produit plus de biomasse racinaire que les deux autres espèces grâce à un réseau latéral de racines plus dense et mieux réparti.

La répartition entre les racines fines (< 2 mm) et les grosses racines (> 2 mm) (Tableau 2) montre que la biomasse des racines fines dans la couche de 10-40 cm représente presque la moitié de la masse totale à 1 m de distance du tronc (30-50 %) et la majeure partie à 2 m de distance du tronc (70-75 %).

## 2- Plantations fruitières en place

Tableau 3 : Biomasse des racines dans la plantation d'amandiers et d'oliviers âgés de 20 ans en sec (S) et en irrigué (I). Site plaine village de Sidi Sayed, Avril 1986. Poids sec, g/m<sup>2</sup> dans la couche superficielle du sol (0-40 cm) à 1, 2 et 4 m de distance du tronc.

Distance m		Amandiers		Oliviers	
		S	I	S	I
1	$\bar{x}$	378	577	-	-
	ES	66	163	-	-
2	$\bar{x}$	209	178	259	597
	ES	181	46	105	226
4	$\bar{x}$	152	441	179	586
	ES	39	182	73	119

Dans les plantations d'oliviers et d'amandiers (Tableau 3) la biomasse racinaire des parcelles irriguées est supérieure à celle des parcelles non irriguées. Les parcelles irriguées avaient également développé plus de racines à 4 m de distance du tronc. Il n'y a pas de différences significatives entre les amandiers et les oliviers. La moyenne des biomasses des parcelles irriguées a atteint 475 g/m<sup>2</sup>, celle des parcelles non irriguées a atteint 235 g/m<sup>2</sup>.

Tableau 4 : Biomasse racinaire dans deux classes (< 2 mm et > 2 mm) de plantation d'amandiers et d'oliviers en sec (S) et en irrigué (I) à Sidi Sayed en g/m<sup>2</sup> et en % du poids total des racines dans la couche superficielle (0-40 cm) à 2 m du tronc, Avril 1988.

Classe diam.		Amandiers		Oliviers	
		S	I	S	I
< 2 mm	$\bar{x}$	79(48%)	75(36%)	81(44%)	144(46%)
	ES	17	14	10	56
> 2 mm	$\bar{x}$	109	132	105	168
	ES	41	99	50	62
Total		188	207	168	312

La fraction des racines fines est de 36-48 % (75-144 g/m<sup>2</sup>) pour les échantillons prélevés en Avril 1988 à une distance de 2 m du tronc (Tableau 4). Il n'y a pas de différences significatives entre les espèces ou entre les parcelles irriguées et non irriguées en ce qui concerne la fraction des racines fines. Seuls les oliviers avaient développé plus de racines fines dans les parcelles irriguées que dans les parcelles non irriguées.

## 3- Les parcours naturels

Tableau 5 : Biomasse des racines dans le parcours naturel. Essai avec fertilisation de NPK et arrosage dans la plaine de Sidi Sayed, 1985-1986. Poids sec, g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm, nombre de répétitions = 9

Année	Mois	Témoin		NPK		Arrosage	
		$\bar{x}$ + ES					
1985	Avril	401 ± 141	450 ± 116	358 ± 55			
1985	Octobre	56 ± 12	65 ± 15	29 ± 16			
1986	Avril	228 ± 55	220 ± 55	322 ± 62			
1986	Octobre	27 ± 4	15 ± 3	44 ± 15			
1987	Avril	257 ± 52	148 ± 31	106 ± 26			
1987	Octobre	108 ± 30	157 ± 42	93 ± 18			

Ni la fertilisation NPK, ni l'arrosage des parcelles n'ont produit d'effet significatif par rapport au témoin. Cependant, on peut constater une nette différence entre les biomasses de racines développées pendant les saisons pluvieuses Octobre-Mars (220-245 g/m<sup>2</sup>) et celles développées après les saisons sèches, Avril-Septembre 16-65 g/m<sup>2</sup> (Tableau 5).

#### 4- Semis d'espèces fourragères herbacées

Les deux espèces ayant survécu dans les parcelles semées (*Plantago albicans* L.) a échoué ont fourni des biomasses racinaires très différentes. *Hedysarum spinosissimum* L. a développé une biomasse (environ 55 g/m<sup>2</sup> moins importante que celle de *Stipa lagascae* R. & S. (environ 135 g/m<sup>2</sup>). Une légère augmentation a été observé après l'arrosage de 1985 ; mais ceux des années suivantes n'ont pas été suivis d'effets significatifs. La troisième année (1987) *Hedysarum* était mort mais *Stipa*, au contraire avait produit une biomasse racinaire importante aussi bien à 20 qu'à 50 cm de distance de la plante (150 et 370 g/m<sup>2</sup>) (Tableau 6).

Tableau 6 : Biomasse racinaire à 20 cm et à 50 cm de la ligne de semis dans des parcelles semées en 1984 avec *Hedysarum spinosissimum* L. et *Stipa lagascae* R. & S. établis après le labour du sol dans un parcours naturel de Sidi Sayed, 1985-1988. Poids sec, g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm, (nombre de répétitions = 9)

Année	Mois	<i>Hedysarum spinosissimum</i> L.				<i>Stipa lagascae</i> R. & S.			
		en sec		en irrigué		en sec		en irrigué	
1985	Avril	52 ± 9	33 ± 7	101 ± 60	34 ± 9	192 ± 33	72 ± 9	239 ± 16	156 ± 37
	Octobre	66 ± 19	33 ± 6	49 ± 12	44 ± 8	87 ± 27	72 ± 10	62 ± 28	81 ± 49
1986	Avril	34 ± 5	34 ± 8	135 ± 68	38 ± 7	285 ± 41	114 ± 41	246 ± 90	121 ± 12
1987	Avril	0	0	0	0	198 ± 36	220 ± 49	369 ± 80	261 ± 36
	Octobre	0	0	0	0	189 ± 72	144 ± 16	127 ± 45	150 ± 42

#### 5- Nouvelles plantations des espèces ligneuses

##### 5.1- Essai "Plantation de plaine"

Les trois espèces installées ont bien démarré avec une biomasse racinaire de 40-75 g/m<sup>2</sup> en Octobre 1985 et de 100-210 g/m<sup>2</sup> en Avril 1986 mais toutes ont enregistré des baisses significatives pendant les saisons sèches de 1986 et de 1987. Après 1987, *Acacia* et *Opuntia* ont décliné définitivement, apparemment à cause de la salinisation. *Atriplex* n'a pas montré de difficultés (Tableau 7) même si une concentration des racines autour du tronc fût observée.

Tableau 7 : Biomasse racinaire à 0,3 et à 1 m du tronc dans des plantations d'*Acacia cyanophylla* Lindl. *Atriplex nummularia* Lindl. et *Opuntia ficus indica* Mill. plantées dans la plaine de Sidi Sayed. Poids sec 1985-1988, g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm, (nombre de répétitions = 12)

Année	Mois	<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.		<i>Atriplex nummularia</i> Lindl.		<i>Opuntia ficus indica</i> Mill.	
		0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
1985	Octobre	75 ± 21	59 ± 27	50 ± 9	42 ± 4	41 ± 8	40 ± 5
1986	Avril	209 ± 63	176 ± 54	101 ± 26	138 ± 61	131 ± 18	57 ± 19
1986	Octobre	59 ± 26	18 ± 14	61 ± 8	45 ± 14	40 ± 16	18 ± 7
1987	Avril	163 ± 52	315 ± 112	158 ± 39	179 ± 30	84 ± 13	152 ± 29
1987	Octobre	108 ± 37	49 ± 13	70 ± 33	51 ± 24	37 ± 17	33 ± 10
1988	Avril	44 ± 19	24 ± 12	120 ± 46	22 ± 13	28 ± 7	8 ± 3

##### 5.2- Essai "Piedmont"

Les cinq espèces installées se sont bien développées, en partie grâce à l'arrosage supplémentaire pendant les deux premières années. *Pinus* avait produit la biomasse racinaire la plus faible dans l'horizon de l'échantillonnage (0-40 cm). Les autres espèces ont montré des différences non significatives. Il y avait un maximum de production correspondant au printemps de 1987 : 600 g/m<sup>2</sup> pour *Acacia*, 300 pour *Atriplex* et 250-300 pour *Opuntia* et *Eucalyptus*. Cette période a été suivie par une sécheresse prolongée pendant 18 mois qui a causé une baisse de développement prononcée pour toutes les espèces sauf *Pinus* (Tableau 8). Après, la biomasse racinaire s'est stabilisée à ce niveau bas.

Tableau 8 : Biomasse racinaire à 0,3 m et à 1 m du tronc des plantations installées en 1984 dans le piedmont Djebel El Kebar. Poids sec, 1985-1989, en g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm, (nombre de répétitions = 12)

Année	Mois	<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.		<i>Atriplex nummularia</i> Lindl.		<i>Opuntia ficus-indica</i> Mill.		<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.		<i>Pinus halepensis</i> Mill.	
		0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
1985	Octobre	38+5	38+7	41+8	31+6	48+10	34+8	98+9	45+7	36+12	42+12
1986	Avril	69+16	27+8	66+14	24+4	77+15	43+22	129+16	39+12	33+8	38+10
1986	Octobre	144+42	84+16	186+53	93+32	145+34	70+33	66+30	42+6	158+28	62+14
1987	Avril	599+164	116+33	298+65	158+31	191+16	200+16	289+86	224+65	85+13	77+30
1987	Octobre	113+118	96+22	175+68	117+28	91+10	62+15	134+11	133+42	85+24	103+9
1988	Avril	184+22	80+18	77+18	50+13	80+27	31+5	62+11	31+11	90+52	31+8
1988	Octobre	172+18	93+18	78+18	50+8	71+8	53+10	147+29	44+5	85+16	47+8
1989	Avril	159+18	169+34	78+9	30+6	49+6	50+9	110+17	81+18	118+12	84+12

Le rapport entre racines fines et grosses a varié beaucoup en fonction des années, de l'âge et de la distance du tronc (Tableau 9). Mais globalement, les racines fines constituent 50 % de la biomasse racinaire totale tous prélèvements confondus.

Tableau 9 : Biomasse des racines fines à 0,3 m et à 1 m de la ligne de plantation exprimée en % de la biomasse racinaire totale dans l'essai de piedmont, Octobre 1988 et Avril 1989.

Année	Mois	<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.		<i>Atriplex nummularia</i> Lindl.		<i>Opuntia ficus-indica</i> Mill.		<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.		<i>Pinus halepensis</i> Mill.	
		0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
1988	Octobre	64	51	41	61	62	74	35	73	53	53
1988	Avril	58	48	74	81	59	50	33	26	35	42
Moyenne de chaque distance		61	50	58	71	60	62	34	50	44	48
Moyenne toutes distances confondues		55		65		61		42		46	

### 5.3- Essai "Sédiments"

La plantation installée dans ce site a eu, dans l'ensemble, un bon développement de sa biomasse racinaire. *Pinus halepensis* Mill. a lui aussi développé une biomasse du même ordre de grandeur que les autres espèces (moyenne de 100-200 g/m<sup>2</sup>). Globalement, il n'y a pas de différences significatives entre les espèces testées. Cependant, quelques différences sont notées au niveau de l'évolution de la biomasse dans le temps. *Atriplex nummularia* Lindl. et *Opuntia ficus-indica* Mill. se sont bien développés comme dans le piedmont. *Pinus halepensis* Mill. a enregistré une baisse de la biomasse racinaire après la sécheresse 1987-88. La baisse due à la saison sèche ressort clairement en Octobre 1987 mais non en Octobre 1986 à cause de l'arrosage effectué à cette époque (Tableau 10).

Tableau 10 : Biomasse racinaire des plantations installées en 1984 au site "Sédiments", versant sud-est de Djebel El Kebar. Poids sec, 1985-1988, en g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm (nombre de répétitions = 12)

Année	Mois	<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.		<i>Atriplex nummularia</i> Lindl.		<i>Opuntia ficus-indica</i> Mill.		<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.		<i>Pinus halepensis</i> Mill.	
		0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
1985	Octobre	44+7	59+8	87+30	41+6	92+6	37+6	44+12	40+12	73+23	90+27
1986	Avril	64+16	47+13	238+92	201+78	255+59	91+18	135+49	75+23	69+7	94+12
1986	Octobre	94+19	53+22	140+46	59+18	196+40	167+32	92+4	70+23	77+21	136+40
1987	Avril	278+53	136+47	196+27	297+86	202+38	105+28	91+27	74+7	69+9	254+59
1987	Octobre	101+25	51+16	84+24	56+18	104+40	34+10	54+26	86+51	42+19	23+11
1988	Avril	188+60	60+5	55+25	14+3	84+27	36+5	142+54	31+8	19+6	-
1988	Octobre	228+33	98+5	87+37	51+9	74+8	97+30	321+116	68+9	74+10	51+6
% rac. fines p/r rac. tot.		38	62	71	75	82	40	17	73	89	85

En 1988, il y avait une petite augmentation de la biomasse racinaire en Octobre en raison des pluies tardives. Le taux des racines fines a varié dans de grandes proportions entre 17 % et 89 % du total.

#### 5.4- Essai "Gradins"

Dans ce site, *Acacia* a développé une biomasse racinaire un peu plus élevée que celle d'*Eucalyptus* et de *Pinus*, mais l'amplitude de variation entre toutes les espèces est importante (moyenne de 135, 80 et 85 g/m<sup>2</sup> pour *Acacia*, *Eucalyptus* et *Pinus* respectivement). Les différences liées à la distance du tronc (0,3 et 1 m) sont irrégulières et non significatives. La baisse en Avril 1988 provoquée par la sécheresse prolongée n'apparaît clairement que pour *Acacia* à la distance de 0,3 m du tronc (Tableau 11).

Tableau 11 : Biomasse racinaire à 0,3 m et à 1 m du tronc dans des plantations d'*Acacia cyanophylla* Lindl., d'*Eucalyptus occidentalis* Endl. et de *Pinus halepensis* Mill. plantées en 1984 dans les gradins dans le versant au SE du Djebel El Kebar. Poids sec 1985-1988, g/m<sup>2</sup>, niveau 0-40 cm, (nombre de répétitions = 4).

Année	Mois	<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.		<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.		<i>Pinus halepensis</i> Mill.	
		0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,0
1985	Octobre	116 ± 74	114 ± 31	52 ± 16	44 ± 12	59 ± 28	43 ± 20
1986	Avril	112 ± 29	125 ± 14	129 ± 36	31 ± 7	36 ± 15	187 ± 59
1986	Octobre	185 ± 69	132 ± 35	36 ± 10	35 ± 5	33 ± 12	70 ± 21
1987	Avril	217 ± 115	143 ± 46	199 ± 57	118 ± 31	146 ± 40	75 ± 31
1987	Octobre	71 ± 16	136 ± 21	121 ± 42	141 ± 33	75 ± 12	153 ± 58
1988	Avril	223 ± 58	42 ± 12	26 ± 9	32 ± 9	42 ± 15	-

#### 6- Taille et biomasse des arbres

Des mensurations des hauteurs des plantes ont été effectuées à partir de 1986 (deuxième année jusqu'en 1989 (Tableau 12)). L'essai de plaine a enregistré une mortalité élevée à cause de la salinité du sol et des dégâts occasionnés par les lapins.

Tableau 12 : Hauteur des plantes (en cm) aux mois d'Avril, 1986 à 1989, dans les essais d'espèces ligneuses.

Site	Année	<i>Acacia cyano-</i> <i>phylla</i> Lidl.	<i>Eucalyptus oc-</i> <i>cidental</i> s Endl.	<i>Pinus hale-</i> <i>pensis</i> Mill.	<i>Atriplex num-</i> <i>mularia</i> Lindl.	<i>Opuntia ficus-</i> <i>indica</i> Mill.
1- Plaine	1986	120	-	-	54	28
	1987	103	-	-	65	26
	1988	96	-	-	100	25
	1989	-	-	-	116	-
2- Piedmont	1986	124	100	59	54	49
	1987	179	184	113	69	53
	1988	177	181	156	86	54
	1989	220	265	193	118	-
3- Sédiments	1986	131	90	24	73	54
	1987	170	141	47	76	64
	1988	231	186	53	124	72
	1989	250	250	98	188	-
4- Gradins	1986	94	65	30	-	-
	1987	108	69	74	-	-
	1988	175	110	93	-	-
	1989	283	170	135	-	-

Néanmoins, *Atriplex nummularia* Lindl. a connu un bon développement durant tout l'essai. Le développement des autres espèces a été bon, mais a connu un retard de croissance en 1988 à cause de la faible pluviométrie durant la période Octobre 1987 - Avril 1988. *Acacia cyanophylla* Lindl. et *Eucalyptus occidentalis* Endl. ont atteint 2,5 à 3 m de hauteur en 1989 et *Atriplex* 1 à 2 m de hauteur. *Pinus* a enregistré un accroissement en hauteur rapide dans l'essai "piedmont" (2 m) ce qui n'est pas le cas de l'essai "sédiments". Toutes les espèces testées ont démarré lentement dans les gradins mais

leur vitesse de croissance a augmenté à partir de la deuxième année. *Eucalyptus* s'y est distingué par un accroissement assez moyen. L'examen des mesures de diamètres des houppiers et des hauteurs (Tableau 13) fait ressortir la différence morphologique existant entre les espèces arbustives (*Acacia cyanophylla* Lindl. et *Atriplex nummularia* Lindl. et celles arborescentes (*Eucalyptus occidentalis* Endl.) et *Pinus halepensis* Mill.). La croissance en diamètre du tronc la plus régulière, tous sites confondus, est celle d'*Atriplex* qui n'a varié qu'entre 7 et 9 cm. Celle d'*Eucalyptus* a montré le plus d'irrégularité, et a varié entre 4 et 10 cm tous sites confondus.

Tableau 13 : Hauteur, diamètre de houppier et diamètre du tronc au niveau basal et à hauteur de poitrine en cm, mesurés sur des plantes sélectionnées pour l'échantillonnage destructif en Avril 1989, moyenne de deux arbres ou deux arbustes.

Site	Hauteur plante	Diamètre houppier	Diamètre tronc	
			hauteur basal	hauteur poitrine
<u>Piedmont</u>				
<i>Acacia</i>	220	335	9,2	7,3
<i>Eucalyptus</i>	265	195	7,0	7,6
<i>Pinus</i>	193	188	9,6	7,0
<i>Atriplex</i>	118	188	-	-
Moyenne	226	239	8,6	7,3
<u>Sédiment</u>				
<i>Acacia</i>	250	335	8,6	8,2
<i>Eucalyptus</i>	250	182	8,0	6,1
<i>Pinus</i>	98	98	4,1	3,5
<i>Atriplex</i>	135	90	-	-
Moyenne	199	205	7,0	6,1
<u>Gradins</u>				
<i>Acacia</i>	283	225	8,2	7,6
<i>Eucalyptus</i>	170	108	5,1	4,1
<i>Pinus</i>	135	106	4,8	6,4
Moyenne	196	146	6,1	6,1
<u>Moyenne tous sites</u>				
(n = 6)				
<i>Acacia</i>	250 ± 24	298 ± 47	8,6 ± 1,0	7,6 ± 0,6
<i>Eucalyptus</i>	228 ± 28	161 ± 25	6,3 ± 0,3	5,7 ± 1,0
<i>Pinus</i>	141 ± 20	130 ± 21	6,1 ± 1,3	5,4 ± 0,9
<i>Atriplex</i>	126 ± 7	139 ± 35	-	-

La biomasse aérienne totale des espèces testées la plus élevée a été enregistrée dans le site "piedmont", la plus faible biomasse a été produite dans le site "gradins" (Tableau 14).

*Acacia* a produit, comparativement aux autres espèces, la plus grande biomasse aérienne (11-17 kg/plante). *Pinus* et *Atriplex* ont produit la plus faible biomasse avec, cependant, une grande variabilité (1-8 kg/plante) (Tableau 14).

*Acacia* et *Atriplex* possèdent la proportion de branches la plus élevée (60 à 70 % de la biomasse totale).

Les feuilles représentent 20 à 25 % de la biomasse totale d'*Acacia cyanophylla* Lindl.; d'*Atriplex nummularia* Lindl. et d'*Eucalyptus occidentalis* Endl. Les aiguilles représentent 43 % du *Pinus halepensis* Mill.

Les grosses racines représentent environ 20 % de la biomasse racinaire totale d'*Acacia* et d'*Eucalyptus*, 15 % de celle de *Pinus* et 10 % de celle d'*Atriplex*.

Tableau 14 : Biomasse des différentes fractions des plantes et biomasse totale. Poids sec en kg/plante à l'échantillonnage destructif, Avril 1989.

Site	Feuilles/ aiguilles	Tronc	Branches	Biomasse racinaire totale	Racines	Biomasse totale
<u>Piedmont</u>						
<i>Acacia</i>	4,16	1,22	9,91	15,29	1,79	17,08
<i>Eucalyptus</i>	1,50	1,19	2,37	5,06	1,21	6,27
<i>Pinus</i>	3,44	0,92	2,78	7,14	1,16	8,30
<i>Atriplex</i>	0,52	-	2,37	2,89	0,35	3,24
Moyenne	2,40	1,11	4,36	10,12	1,13	8,72
<u>Sédiments</u>						
<i>Acacia</i>	1,55	0,61	6,36	8,52	2,57	11,09
<i>Eucalyptus</i>	1,18	0,53	1,81	3,53	1,26	4,79
<i>Pinus</i>	0,44	0,06	0,31	0,81	0,15	0,96
<i>Atriplex</i>	0,90	-	2,08	2,98	0,29	3,27
Moyenne	1,02	0,40	2,64	5,28	1,07	5,02
<u>Gradins</u>						
<i>Acacia</i>	1,64	0,65	6,16	8,45	3,01	11,46
<i>Eucalyptus</i>	0,46	0,23	0,77	1,39	0,46	1,85
<i>Pinus</i>	0,79	0,17	0,42	1,38	0,29	1,67
Moyenne	0,94	0,35	1,84	3,74	0,94	3,74
<b>Moyenne tous sites (n = 6)</b>	<b>Feuilles/ aiguilles</b>	<b>Tronc</b>	<b>Branches</b>	<b>Biomasse aérienne totale</b>	<b>Racines</b>	<b>Total</b>
<i>Acacia</i>	2,45 ± 1,1	0,83 ± 0,28	7,47 ± 2,59	10,75	2,45 ± 0,72	13,20
<i>Eucalyptus</i>	1,02 ± 0,29	0,65 ± 0,21	1,66 ± 0,42	3,33	0,98 ± 0,18	4,31
<i>Pinus</i>	1,56 ± 0,71	0,38 ± 0,18	1,17 ± 0,75	3,11	0,53 ± 0,22	3,64
<i>Atriplex</i>	0,71 ± 0,28	-	2,22 ± 0,88	2,93	0,32 ± 0,09	3,25

## V - DISCUSSION

Cette étude a mis l'accent sur le développement racinaire de vieux peuplements et de jeunes plantations d'arbres et d'arbustes. Cette option répondait aux objectifs initiaux du projet, dans le cadre duquel l'étude fût menée, dont l'un des principaux était l'étude du rôle des racines sur la percolation et l'écoulement de l'eau et leur rôle dans la prévention de l'érosion hydrique.

Dans les programmes présents la production et la biomasse aérienne occupent une place plus importante. L'objectif majeur sera toujours le rôle des différents couverts végétaux (arbres, arbustes, herbacés) dans la prévention de l'érosion hydrique et éolienne mais aussi leur utilisation pour la production fourragère.

Les résultats montrent qu'il y a une nette différence entre les saisons sèches et pluvieuses, dans les vieilles comme dans les jeunes plantations, une baisse considérable en période sèche et une augmentation importante en période de pluies. Cette dynamique bimodale existe dans les jeunes plantations où la biomasse racinaire augmente globalement d'une année à l'autre, mais cette augmentation est irrégulière dans le temps, chaque année elle avance de deux pas et recule d'un autre jusqu'à ce que le niveau de biomasse du stade adulte soit atteint (soit environ 800 g/m<sup>2</sup> après la saison pluvieuse pour les essences forestières arborescentes testées et 400 g/m<sup>2</sup> pour les plantations d'arbres fruitiers et d'arbustes fourragers). Cette stabilisation de la biomasse racinaire à des niveaux déterminés est un phénomène dynamique qui se traduit par une mortalité élevée des racines pendant la saison sèche et une décomposition rapide des vieilles racines pendant la saison pluvieuse. L'étude de ce processus n'a pas été prévue par le projet initial, mais eu égard à son importance elle devra être incluse dans la phase suivante. La variation bimodale entre les saisons pluvieuses et sèches de l'année correspond fort probablement à un ajustement du développement racinaire, surtout dans les couches superficielles, qui ne constitue qu'un aspect partiel de la dynamique racinaire dans les

premiers 40 cm du sol. Il sera par conséquent intéressant d'étendre l'étude aux dynamiques annuelles de la croissance racinaire avec des prélèvements au moins bimestriels s'étendant à des couches de sol plus profondes. L'apport d'eau supplémentaire favorise le développement de biomasse racinaire ; ceci est illustré par la comparaison entre les biomasses racinaires des amandiers et des oliviers irrigués et celles des mêmes arbres non irrigués.

Les anciennes plantations d'arbres forestiers, âgées de 25 ans, ont une biomasse racinaire d'environ 8 t/ha dans la tranche de sol de 0-40 cm. Les plantations d'oliviers et d'amandiers cultivées en sec ont une biomasse nettement moins grande soit environ 2,5 t/ha. En irrigué, ces mêmes plantations possèdent une biomasse de 5 t/ha. La biomasse racinaire des parcours naturels a atteint 3 t/ha à la saison pluvieuse.

La biomasse racinaire des plantations âgées de 3 à 4 ans d'arbres et d'arbustes est de l'ordre de 2 t/ha à la fin de la saison pluvieuse. Au contraire, *Stipa lagascae* s'est distingué par un développement vigoureux et a rapidement atteint une biomasse racinaire de 3 t/ha. Cela est confirmé, par une étude actuellement en cours. Ceci montre que certaines graminées peuvent être plus efficaces que des arbres et/ou des arbustes pour une fixation rapide du sol soumis à l'érosion.

Il est difficile de faire des évaluations définitives des développements racinaires des différentes espèces testées. La variance autour des moyennes est grande. Néanmoins, à la lumière des résultats obtenus on constate qu'*Acacia* et *Atriplex* développent, comparativement aux autres espèces, une biomasse racinaire importante, *Opuntia* et *Pinus* une biomasse racinaire faible ; *Eucalyptus* se situe à un niveau intermédiaire.

Le rapport racines fines/racines grosses varie beaucoup et il est difficile d'analyser les différences entre les espèces. Ces différences sont essentiellement liées à l'existence ou non de grosses racines dont le diamètre dépasse 5 cm ; en effet, l'existence d'une telle racine dans un échantillon peut augmenter son poids 5 à 10 fois par rapport à celui qui n'en contient pas. Il existe sûrement une variation spatiale de la croissance des racines fines à cause de la variabilité du sol. La variation la plus importante du niveau de la biomasse racinaire au sein d'une même espèce est en fonction des écarts pluviométriques entre la saison sèche et la saison humide. Ainsi, l'amplitude de variation des racines de diamètre inférieur à 2 mm est de 20-90 %. Toutefois, l'amplitude de variation, dans la plupart des cas, se situe entre 40 et 50 %.

Les quantités de grosses racines dans la tranche de sol étudiée varient beaucoup d'une espèce à une autre, 2-3 kg par plante pour *Acacia*, 0,45-1,3 kg pour *Eucalyptus* et 0,15-0,35 kg pour *Pinus* et *Atriplex*. Les faibles quantités trouvées pour *Pinus* et *Atriplex* s'expliquent par le fait que ces deux espèces développent plus de grosses racines dans les couches du sol au-dessous d'un m de profondeur et relativement beaucoup de racines fines dans les couches superficielles (0-40 cm).

Une étude récente (PETERSSON, MESSING et STEEN, 1987) a montré que l'infiltration de l'eau dans le sol est sensiblement améliorée par l'existence d'une nécromasse (racines mortes). Cette infiltration tend à baisser au moment où les nouvelles racines sont au maximum de leur développement. Ces indications préliminaires devront, cependant, être complétées par l'étude de la dynamique annuelle des biomasses racinaires, de leur mortalité et de leur décomposition dans la couche superficielle (0-40 cm) mais aussi, dans les couches plus profondes.

La méthode des filets a bien fonctionné comme méthode d'échantillonnage de la biomasse racinaire dans les jeunes plantations. Mais, les grandes variabilités de la moyenne (coefficient de variation : 25 %) fortement liées à la présence ou à l'absence des grosses racines, suggèrent que le nombre de répétitions doit être augmenté. Un dispositif d'échantillonnage au hasard de traitements avec 10 répétitions serait l'idéal ou, à défaut, 20 filets par traitement répartis entre blocs, c'est-à-dire cinq filets par bloc. Le même dispositif devrait être utilisé si le carottage était employé comme méthode de prélèvement, son grand avantage étant de permettre des prélèvements d'échantillons à des profondeurs plus grandes, du moins dans les sols non caillouteux.

Bien que les résultats fournis par le suivi de la biomasse aérienne soient limités, on peut constater qu'*Acacia cyanophylla* Lindl. s'avère l'espèce la plus vigoureuse avec une moyenne de biomasse sèche de 13 kg/plante. Les trois autres espèces ont fourni une biomasse totale de 3-4 kg/plante. La proportion des grosses racines est de 10 à 30 % de la biomasse totale, en excluant la partie racines fines. Les racines fines représentent en moyenne 40-50 % de la biomasse racinaire totale.

La biomasse racinaire totale constitue 25 à 30 % de la biomasse totale.

Ces données se rapportent à la croissance des quatre premières années d'une plantation nouvellement installée. L'accroissement annuel est approximativement de 1-4 kg/an/plante dont 70-75 % correspondent à la production de biomasse aérienne. L'écartement entre les plantes s'avère déterminant pour la production. Sous climat semblable à celui du centre tunisien avec une pluviométrie annuelle de 200-300 mm, le nombre de 500 individus par hectare peut être considéré comme étant raisonnable. La production aérienne annuelle serait de l'ordre de 300-1500 kg/ha, ce qui est assez faible. Il n'est pas permis d'extrapoler à partir de ces résultats des estimations de production relatives aux vieilles plantations.

En ce qui concerne les plants fourragers, on constate une grande différence entre les niveaux de production d'*Acacia*, d'*Atriplex* et d'*Opuntia*. Néanmoins, à la lumière des résultats obtenus, on peut se demander s'il ne serait pas beaucoup plus rentable de planter les parcours naturels et d'exploiter les plants fourragers que de se contenter de la végétation autochtone en place. L'état des connaissances actuelles ne permet pas de comparaisons valables, cependant, quelques indications peuvent être fournies par les études menées sur quelques associations de la végétation du sud tunisien par FLORET et PONTANIER (1982), par RODIN et al. (1972), LE HOUEROU et HASTE (1977), NOVIKOFF et al. (1977).

Les estimations de production des parcours et de différentes associations de plants fourragers, dans le sud tunisien fournies par l'ensemble de ces auteurs se situent entre 150 et 1700 kg/ha/an de matière sèche.

## VI- CONCLUSIONS

- La biomasse racinaire mesurée dans les parcours naturels est assez élevée (4-5 t/ha).
- La biomasse racinaire mesurée dans l'horizon superficiel du sol (0-40 cm) est plus élevée dans les plantations d'oliviers et d'amandiers irrigués que dans celles cultivées en sec.
- La biomasse racinaire croît rapidement dans les semis à base de graminées (*Stipa lagascae* R. & S.). Une année après la mise en place du semis, la biomasse a atteint 3 à 5 t/ha. Cette croissance rapide est un avantage important pour les travaux de conservation du sol.
- La biomasse racinaire la plus élevée dans les niveaux 0-40 cm de profondeur après 5 ans est développée par *Acacia cyanophylla* Lindl. suivi par *Eucalyptus occidentalis* Endl. alors que *Pinus halepensis* Mill. et *Atriplex nummularia* Lindl. n'ont développé, comparativement, que de faibles quantités ; ceci s'explique en partie par le développement d'un réseau racinaire plus dense au-dessous de 40 cm de profondeur par ces deux dernières espèces.
- Les racines fines (< 2 mm) représentent 40-50 % de la biomasse totale dans le niveau 0-40 cm. *Acacia* et *Eucalyptus* déploient un réseau racinaire fin plus dispersé dans la couche superficielle que les autres espèces, la biomasse racinaire élevée à ce niveau s'explique par la présence plus abondante de moyennes et grosses racines.
- La biomasse racinaire prélevée après la saison pluvieuse est plus élevée que celle prélevée après la saison sèche mais on assiste à une mortalité relativement importante de racines durant la saison pluvieuse.
- Les différences de production de biomasse racinaire sont moins importantes entre sites (plaine, piedmont, sédiments, gradins) qu'entre les espèces testées. Il est vrai que la texture du sol dans tous les sites est à peu près la même (sables et sables fins).
- La biomasse racinaire constitue 25-30 % de la biomasse totale (aérienne et souterraine) dans les nouvelles plantations mises en place.
- La biomasse aérienne des parcours naturels est basse (200-800 kg/ha). La production est particulièrement faible dans les montagnes.
- Dans les nouvelles plantations la biomasse aérienne a été déterminée individu par individu. A l'âge de 5 ans, *Acacia* a fourni la plus grande biomasse (10 kg/individu environ). Les trois autres espèces: *Eucalyptus*, *Atriplex* et *Pinus* ont fourni environ 30 % de la biomasse d'*Acacia*, (3 kg/individu environ). Avec 500 plants par hectare la biomasse par hectare varie entre 2 et 8 t/ha de matière sèche. La production annuelle pour les 5 premières années a été estimée entre 500 et 1500 kg/ha de matière sèche.
- L'infiltration de l'eau est évidemment influencée par les racines. Dans les nouvelles plantations la percolation est ralentie par la densité du réseau de racines nouvelles. Dans les peuplements anciens on assiste à un phénomène inverse, l'infiltration de l'eau est facilitée par l'existence de nombreuses racines mortes dans les conduits verticaux de sol (PETERSSON et al. 1987).
- Outre les résultats quantitatifs relatifs à la biomasse souterraine de certaines espèces végétales cultivées dans la zone d'étude, les travaux expérimentaux menés durant la période 1984-1989 ont permis de mettre en évidence l'influence de la nature du couvert végétal (espèce, densité) sur le mouvement de l'eau dans le sol. Il serait intéressant sur les plans scientifique et technique de poursuivre des expérimentations, plus approfondies sur la base d'essais rigoureusement conçus et soigneusement conduits en matière d'amélioration de rétention de l'eau dans le profil du sol (notamment les facteurs inhérents à la végétation, tels que la nature du couvert végétal, la densité du système racinaire et ceux inhérents à l'édaphisme tels que la texture, la structure, la perméabilité, etc.).

Bibliographie

- CASTANY G. (1947). Etude géologique de la bordure occidentale du Sahel. *Annales des Mines et de la Géologie Tunis*, 2, 79 p.
- DAGNELIE P. (1975). Analyse statistique à plusieurs variables. *Les Presses agronomiques de Gembloux, ASBL*.
- DEGALLIER R. et DELGA H. (1938). Le Djebel-Kebar, Sidi Bouzid. *Archives S.E.R.P.T Tunis*.
- FLORET C. et PONTANIER R. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne. *Travaux et documents de l'ORSTOM n°150. Paris*, 544 p.
- FLOWER-ELLIS J. et PERSSON H. (1980). Investigation of structural properties and dynamics of Scots pine stands. *Ecological Bulletin* 32, 125-138.
- GAUSSEN H. et VERNET A. (1950). Carte des précipitations de Tunisie au 1/500 000. *Publ. du Ministère de l'Agriculture, Tunis*.
- HALLBERG M., HANSSON T., LINDSTROM C., SVENSSON A. et SUNDBERG D. (1985). Naturel resources and landscapes in a longterm perspective. A case study Sidi Bouzid, Central Tunisia. *Department of Landscape Planning, Stencil No. 85:5, Alnarp, Sweden*, 138 p.
- LE HOUEROU H.N. (1975). The natural pastures of North Africa : types production, productivity, and development. *International Symposium on Range Inventory and Mapping in tropical Africa. ILCA, Addis Abeba*, 41-56.
- LE HOUEROU H.N et HOSTE C. (1977). Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the African Sahelo-Sudanian zones. *Journal of Range Management* 3, 18-189.
- LONG G. (1954). Contributions à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale. *Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie* 27, Tunis, 388 p.
- NOVIKOFF G., WAGNER F.H., SKOURI M. et HADJEJ M.S. (1977). System analysis of the presaharian ecosystem of Southern Tunisia. *OS/IBB Desert Biome, Utah State University, Logan, Progress Report. No 1 à 6 (ronéo)*.
- PETERSSON H., MESSING I. et STEEN E. (1987). Influence of root mass on saturated hydraulic conductivity in arid soils of central Tunisia. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 1, 149-160.
- RAFIQ M. (1979). Crop ecological zones of seven countries of the Near East and North African Regions. Cairo. FAO.
- RODIN L.E., VINOGRADOV B., MIROCHUITCHENKO Y., FELT M., KELENOV H. et BOTSCHANTZEV V. (1970). Etudes géobotaniques des pâturages du secteur ouest du département de Médéa (Algérie), Leningrad, 24 p.
- SOLIGNAC M. (1931). Description d'une nouvelle carte géologique de la Tunisie à l'échelle de 1/500 000. *Imp. erthod, Boury.Tunis*, 78 p.
- STEEN E. (1985). Root and rhizome dynamics in a perennial grass crop during an annual growth cycle. *Swedish Journal of Agricultural Research* 15, 25-30.

## Contribution à l'étude des groupements à *Quercus ilex* et *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis*, des monts de Tlemcen (Algérie)

C. ALCARAZ \*

**RESUME-** Cette publication est consacrée à l'étude des grandes lignes physiologiques, dynamiques, phytosociologiques et écologiques des groupements mixtes à *Quercus ilex* et *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis* des monts de Tlemcen (ouest algérien). D'une manière plus précise, ce travail nous a permis de définir 16 groupes phytoécologiques ou floristiques au sein de ces groupements.

**SUMMARY -** This publication concerns the study of the main physiological, dynamic, phytosociological and ecological features of mixed formations with *Quercus ilex* and *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis* of the mountains of Tlemcen (in western Algeria). More precisely, this work has allowed us to define 16 phytoecological, floristic or ecological groups within these formations.

**RESUMEN -** Esta publicación se centra en el estudio de los principales aspectos fisiológicos, dinámicos, fitosociológicos y ecológicos de las agrupaciones mixtas de *Quercus ilex* y *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis* de los montes de Tlemcen (oeste de Argelia). De una manera más precisa, este trabajo nos ha permitido definir 16 grupos fitosociológicos o florísticos en el seno de estas agrupaciones.

**MOTS CLES :** ALGERIE, ORANIE, Ecologie, Groupements, Groupes, Chênes vert et Zéen (1)

### INTRODUCTION

Nous allons nous intéresser, ici, essentiellement à l'étude de ces groupements mixtes à *Quercus ilex* et *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis* parce qu'ils constituent, le plus souvent, la végétation la plus fraîche et humide, donc la plus riche, de l'Ouest algérien. (Altitude généralement située entre 1200 et 1579 mètres et exceptionnellement à 1843 mètres au Djebel Ténouchfi, point culminant de la région).

Par ailleurs, pour une meilleure présentation des tableaux et de l'exposé, nous appelons également ces groupements : groupements CV9 ou groupements à Chênes vert et Zéen.

Avant d'étudier ces groupements CV9 il paraît utile de préciser la méthode d'étude ainsi que la nature des autres groupements à Chêne vert CV1 à CV10 mentionnés au cours de cette publication et ayant fait l'objet d'autres travaux personnels.

La méthode s'inspire, au départ, de celle de l'école Zuricho-Montpellieraine, puisque les relevés ont été établis conformément aux conceptions classiques de J. BRAUN-BLANQUET (1952). Chemin faisant, elle s'en écarte pour prendre un caractère plus écologique.

\* Université de Perpignan, Avenue de Villeneuve, F 66025 Perpignan Cedex.

(1) Zéen est le nom vernaculaire du *Quercus faginea* au sens large.

En effet, dans un premier temps, nous classons les relevés de chaque "type de végétation" par catégorie de sol. C'est ainsi, par exemple que nous groupons d'un côté les relevés phytosociologiques se rapportant à la Chênaie verte sur sols rouges non calcaires (ou peu calcaires), et d'un autre côté, ceux de la même formation sur sols de couleur blanche, grise ou beige, riches en calcaire.

Dans un second temps, chacun de ces deux grands groupes de relevés ont été subdivisés en fonction des bioclimats. On obtient de la sorte 10 types de groupements à Chêne vert (CV1 à CV10) au sein de ces deux grandes catégories de sols :

Exemples :

- Les groupements CV9 mixtes à *Quercus ilex* et *Quercus faginea subsp. tlemcenensis* sur terra rossa, en sous-étages humide inférieur et subhumide supérieur frais.
- Les groupements CV1 à *Quercus ilex* sur sol calcaire en étage subhumide frais.

Puis, en comparant la composition floristique des relevés ainsi réunis sur des bases édaphiques et climatiques, nous avons pu, en tenant compte de l'existence ou de l'absence d'affinité floristique, soit corriger les précédents classements, soit les affiner. Ainsi, par exemple, certains relevés ont été éloignés d'autres avec lesquels nous les avons rapprochés sur des bases édaphiques ou climatiques et réunis à ceux avec lesquels ils montraient des affinités plus précises bien que correspondant à des conditions édaphiques ou climatiques très sensiblement différentes.

Nous avons ainsi opéré pour tous les "types de végétation" et de groupements se rencontrant dans l'Ouest Algérien depuis le bord de mer jusqu'à l'intérieur du pays (Junipéraie littorale, Tétracлинаie, Chênaies vertes, Pinèdes, Subéraies, formations steppiques, etc.).

Cette façon de procéder nous a permis, entre autres, de définir tous ces "types de végétation" et plus particulièrement les groupements CV9, faisant l'objet de la présente publication et les groupements CV6, CV7, CV8 et CV10.

Pour la clarté de la présente étude, rappelons la signification de ces CV6, 7, 8, 9 et 10 que nous citons dans l'ordre géographique suivant : (Voir carte 1).

#### 1) Groupements de l'Atlas plissé

- CV10 = groupements à *Quercus ilex* sur terra rossa en étage subhumide frais. (Monts du Tessala situés à une quarantaine de kilomètres au Sud d'Oran).

#### 2) Groupements de l'Atlas tabulaire

- CV9 = groupements à *Quercus ilex* et *Quercus faginea subsp. Tlemcenensis*. (CV9 sur les Monts de Tlemcen situés au Sud et Sud-Ouest des Monts de Tessala).

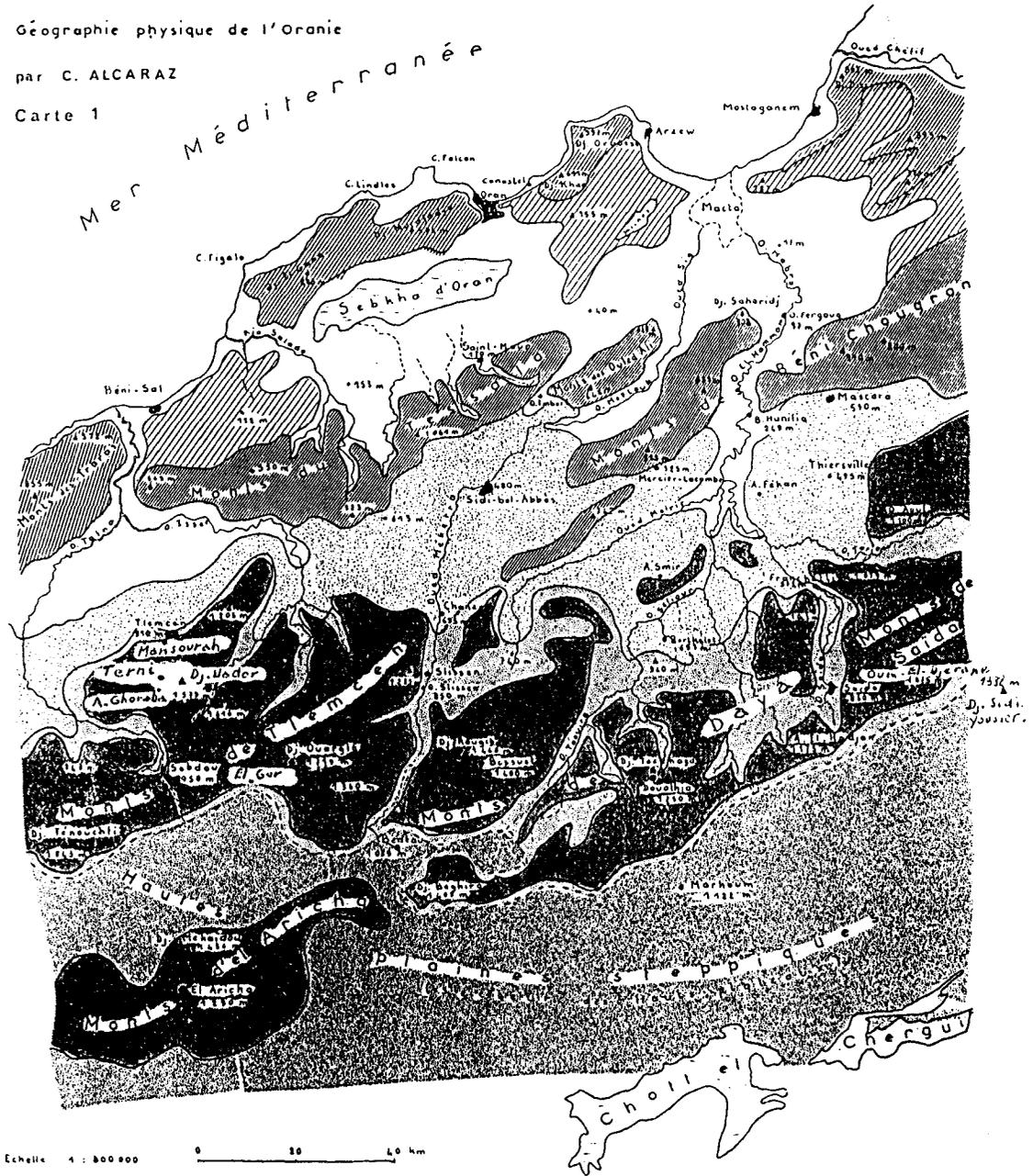
- CV8 = groupement à *Quercus ilex* sur terra rossa en sous étage subhumide inférieur froid se rencontrant 15 à 30 kilomètres au Sud des groupement CV9 (partie Sud-Ouest des Monts de Tlemcen située à l'Ouest et au Sud-Ouest d'une ligne Sebdoou-Dj. Tenouchfi).

- CV7 = groupements à *Quercus ilex* sur terra rossa en étage semi-aride frais se trouvant sur les Monts de SAÏDA, (plus précisément au Sud-Est de la ville de Saïda, au Sud d'une ligne Oum-El-Djerane - Djebel Sidi Youssef).

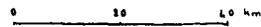
Géographie physique de l'Oranie

par C. ALCARAZ

Carte 1



Echelle 1 : 300 000



- |                  |  |   |
|------------------|--|---|
| Région littorale | Dépressions (<math>0</math> à 100 m)   | Atlas plissé 500 m à 1 000 m  |
|                  | Basses-Plains 0 m à 100 m              | Partie basse de l'Atlas tabulaire avec brèches et dépressions 500 m à 1 000 m |
|                  | Plateaux néogènes 100 m à 200 m        | Partie haute de l'Atlas tabulaire 1 000 m à 1 500 m                           |
|                  | Sahels ou "mantingettes" 200 m à 300 m | Hautes-Plains steppiques = Hauts-Plateaux 1 000 m à 1 500 m                   |
|                  | Hautes-Plains telliennes 300 m à 500 m |   |
- ligne de séparation entre le Tell et les Hautes-Plains steppiques

- CV6 = groupements à Chênes vert et Zéen sur terra rossa en sous-étages semi-arides, moyen et supérieur, froids et frais se rencontrant immédiatement au Sud et Sud-Est des groupements CV8 précédemment cités. Ces groupements CV6 constituent la variante xérique des groupements CV9 et assurent la transition entre les groupements telliens et ceux des Hauts Plateaux steppiques.

En somme, en passant de CV9 à CV8, CV7 et CV6 la xéricité s'accroît parallèlement à la diminution de Q2. Le tableau suivant précise le commentaire précédent :

OROGRAPHIE PEDOLOGIE	Groupements	Géographie	Valeurs bioclimatiques
ATLAS PLISSE (Terra rossa)	CV10	Monts du TESSALA Alt = 890 - 1061 m	90 < Q2 < 100 +1,4° C < m < +2,1° C
A T L A S T e r r a B U L A S I R E	CV9	Monts de TLEMCEM (Nord-Ouest) Alt = 1200-1579 m	84,3 < Q2 < 106 0° C < m < +2° C
	CV8	Monts de TLEMCEM (Sud-Ouest) Alt = 1380-1420 m	52,3 < Q2 < 55,8 -1,5° C < m < -1,2° C
	CV7	Monts de SAIDA (Sud-Est) Alt = 980-1290 m	41,7 < Q2 < 51,5 0° C < m < +1° C
	CV6	Monts de TLEMCEM (Sud) Alt = 1000-1270 m	36 < Q2 < 48 -1° C < m < +1° C

Rappelons, par ailleurs, que les termes fréquence et présence sont synonymes et représentés par un chiffre romain (de I à V), que la dominance est mentionnée en chiffre arabe (de 1 à 5) et que la présence-dominance (ou fréquence-dominance) par un chiffre romain avec en exposant le chiffre arabe de dominance. (Ex. II<sup>3</sup>), le tout conformément à la nomenclature de J. BRAUN-BLANQUET (1952). Ar, r, Tr sont des valeurs décroissantes de dominances inférieures à +, donc à 1 % de recouvrement, que j'ai personnellement utilisées.

Précisons enfin, que sur le terrain, mes relevés phytosociologiques ont été généralement établis à l'intérieur de carrés de dix à vingt mètres de côté.

## I - GENERALITES - MILIEU

### 1 - Aire géographique

Ces groupements CV9 se situent sur la partie haute des Monts de Tlemcen, plus précisément dans la région de Terni, Ain-Ghoraba et Dj. Nador (généralement entre 1200 et 1500 mètres d'altitude et exceptionnellement 1579 mètres au Dj. Nador).

2 - Bioclimat

Humide inférieur et subhumide supérieur frais.

Le Bioclimat correspondant à ces groupements CV9 est défini par les valeurs de Q2 et m suivantes :

$$\begin{array}{l} 84,3 < Q2 < 106 \\ 0^{\circ} \text{ C} < m < +2^{\circ} \text{ C} \end{array}$$

Pour la signification de Q2 et m, il faut se référer aux travaux de L. EMBERGER (1952), Ch. SAUVAGE (1961) et Cl. ALCARAZ (1969 et 1982).

3 - Géologie et sola) Géologie.

Dolomies, marnes et calcaires bleus ou cristallins du Jurassique constituent l'essentiel du substratum du secteur de ces groupements.

b) Le sol.

Les principaux résultats sont consignés dans le tableau d'analyses suivant.

TABLEAU DES RESULTATS DES ANALYSES

	Numéros des relevés							
	19	21	22	38	34	26A	26B	
- CO <sub>3</sub> Ca en %.....	0	3,6	1,3	0	0,4	1,3	69,3	
- PH.....	7,80	8	7,6	8,1	7,7	7,1	8,1	
- Cl <sup>-</sup> en mg/litre.....	40,50	120	34	28	42	53	46	
- C organique en %.....	2,23	10,30	1,38	1,06	2,86	2,88	1,03	
- Gravier (supérieurs à 2000 microns) en %.....	15,02	31,79	23,93	21,45	22,24	24,83	9,16	
- Sables grossiers et moyens (compris entre 200 et 2000 microns) en %....	10,65	29,96	17,12	10,39	19,32	5,24	4,90	
- Sables fins (compris entre 50 et 200 microns) en %.....	2,49	31,69	9,91	2,60	8,06	0,78	1,02	
- Limons grossiers (compris entre 20 et 50 microns) en %.....	21,61	1,16	15,19	5,23	25,04	3,31	3,57	
- Limons fins (compris entre 2 et 20 microns) en %.....	0,67	4,24	20,79	20,62	17,68	10,42	43,41	
- Argiles (inférieur à 2 microns) en %.....	49,56	1,16	13,06	39,70	7,66	55,43	38,43	
- complexe absorbant (Cations échangeables en méq.g./100 g de terre)	{ Ca... Mg... K.... Na...	28,20	51,60	22,80	13,80		50,40	52,20
		9,24	10,56	8,40	6,36		2,70	0,78
		0,96	1,13	0,72	0,63		1,88	0,56
		0,06	0,02	0,05	0,09		0,05	0,08

Ce sont des terra rossa très décalcarisées à non calcaires (calcaire total compris entre 0 et 3,6 %) généralement moyennement profondes (0,25 à 0,40 mètre de profondeur), et exceptionnellement très profondes (voisines de 1,5 mètre de profondeur). Elles sont le plus souvent assez pauvres à moyennement riches en carbone organique (1,03 à 2,88 % de C organique) et exceptionnellement riches en cet élément (10,3 %). Dans ce dernier cas, l'horizon superficiel A<sub>1</sub> est normalement brun, et l'horizon A<sub>2</sub> marron-rouge.

Dans la majeure partie des sols, cet horizon A<sub>1</sub> a été décapé par l'érosion et l'horizon A<sub>2</sub> rouge, à marron-rouge, mis à nu (L'horizon A<sub>2</sub> est d'autant plus rouge qu'il est pauvre en matière organique).

Leur pH oscille entre 7,1 et 8,1 et ils sont relativement riches en ions Calcium (13,8 à 51,60 méq.g./100 g de terre).

Tous ces sols présentent une texture argilo-limono-sableuse. L'allure du paysage est typiquement karstique.

## II - LA VEGETATION

### 1 - Physionomie.

Dans sept relevés sur trente neuf, le Chêne Zéen se rencontre à l'état arborescent alors que le Chêne vert ne se trouve jamais en arbre. Ce dernier se présente, cependant, à l'état arborescent et isolé, seulement en dehors de nos relevés, au milieu de cultures ou de terres en friche. De toute évidence, ce sont des reliques préservées par l'Homme.

Les Chênes vert et Zéen arbustifs (généralement entre 1 mètre et 3 mètres de hauteur), couvrent plus de la moitié ou des trois quarts de la surface du sol. Ils constituent donc le plus souvent, des matorrals moyens à élevés, denses ou troués.

Dans les sept relevés pré-cités, l'allure de la végétation, est un matorral arboré moyen à élevé, dense ou troué.

### 2 - Dynamisme.

En somme, actuellement, l'allure de la végétation la plus évoluée est celle d'un matorral arboré élevé et dense, dans lequel la strate arborescente est uniquement constituée par le Chêne zéen et la strate arbustive par ce dernier, ainsi que le Chêne vert et plus rarement le Genévrier oxycèdre.

Il est à observer que le Chêne zéen en arbre se rencontre sur les deux types de sols suivants :

a) sol avec horizon A<sub>1</sub> superficiel brun de 0,10 mètre d'épaisseur reposant sur horizon A<sub>2</sub> marron à rouge de 1 à 1,5 mètre de profondeur. Exemple : relevé 11.

b) sol avec horizon A<sub>2</sub> superficiel rouge à marron-rouge, de 1,5 mètre de profondeur, l'horizon A<sub>1</sub> ayant été décapé par érosion. Exemple : relevé 34.

### COEFFICIENTS DE RECOUVREMENT

(= Dominance)

	<u>Relevé n° 11</u>	<u>Relevé n° 34</u>
Chêne zéen arborescent.....	2	1
Chêne zéen arbustif.....	3	1
Chêne vert arbustif.....	3	4
Genévrier oxycèdre arbustif.....	Tr	Tr

Remarquons, cependant, que sur ces deux types de sol, le Chêne vert arborescent est toujours absent, alors qu'à l'état arbustif, il prédomine ou égale le Chêne zéen et que le Genévrier oxycèdre y est très rare.

Quoiqu'il en soit, retenons que ce sont ces deux types de sol qui conviennent le mieux au zéen.

Dans un sens régressif, on passe du matorral arboré précédent à un matorral dense ou troué et élevé à Chênes vert et zéen et Genévrier oxycèdre, puis à un matorral clair élevé ou moyen troué ou clair à Chêne vert et Genévrier oxycèdre (le Zéen ayant alors disparu).

Plus le matorral est dégradé et plus ce Genévrier prédomine en hauteur et en recouvrement sur le Chêne vert. Dans les stades de dégradation ultime, on observe assez souvent :

- Genévrier oxycèdre	:	Coefficients de recouvrement : 3,	hauteur 2 à 3,5	m
- Chêne vert	:	"	"	+ " 0,80 m
- <i>Asphodelus cerasifer</i>	:	"	"	++
- <i>Urginea maritima</i>	:	"	"	Ar

Remarquons enfin, qu'en Oranie il n'existe pas de peuplements purs à *Juniperus oxycedrus subsp. rufescens* et que cet arbre n'y constitue en aucun cas une espèce-climax.

### III - DISCUSSION ET INTERPRETATION

Il paraît utile de préciser que le zéen de notre région, est *Quercus faginea subsp. tlemcenensis* (DE CANDOLLE) MAIRE et WEILLER, se rencontrant uniquement en Oranie par opposition à la *subsp. baetica* (WEBB) DE CANDOLLE - *forma Mirbeckii* (Dur.) MAIRE, se trouvant dans l'Algérois et le Constantinois. (QUEZEL, 1956).

En Oranie, les groupements à Chênes vert et zéen se différencient des autres groupements à Chêne vert essentiellement par le groupe un d'espèces préférentielles des groupements mixtes à Chêne vert et Chêne zéen sur terra rossa en sous-étages humide inférieur et subhumide supérieur frais (tableau 1).

Ces groupements à Chênes vert et zéen, CV9, se caractérisent surtout par l'association (et l'importance de la présence-dominance) de *Viburnum tinus* et *Cephalaria leucantha* et à un degré moindre, *deRuscus aculeatus*, (avec les deux précédentes espèces).

En effet, dans notre région, ces trois espèces présentant une amplitude et des exigences écologiques très voisines de celles du Chêne zéen ne se rencontrent que dans l'aire de ce dernier où elles sont généralement associées.

Bien que moins fréquentes que ces premières, d'autres espèces caractérisent également assez bien ces groupements.

Ce sont :

- *Cytisus Fontanesii*, *Bupleurum montanum* et *Anthyllis polycephala subsp. polycephala*.

En effet, à notre connaissance, ces trois taxes sont uniquement présents dans les groupements mixtes à Chênes vert et zéen des Monts de Tlemcen. Rappelons que ces trois plantes sont respectivement ibéro-maurétaniennes, endémiques de l'Afrique du Nord, et ibéro-marocaines.

- *Anthyllis vulneraria subsp. saharae*.

Cet *Anthyllis* est presque exclusif de ces groupements CV9 puisque prédominant dans ces derniers (III<sup>+</sup>), très exceptionnel (I<sup>+</sup> et 1<sup>+</sup>) dans les groupements à Chêne vert des Monts de Saïda et de Sebdo (CV7 et CV6) et absent dans le reste de notre terroir. A notre avis, il semble que cette sous-espèce soit endémique de l'Oranais.





- *Helianthemum croceum*.

Cet hélianthème se rencontre surtout dans les groupements à Chênes vert et zéen, plus rarement dans les groupements purs à Chêne vert, et très exceptionnellement dans les groupements à Chêne liège (dans ces trois cas, sur les Monts de Tlemcen ou la bordure septentrionale des Hauts Plateaux steppiques de la région d'El-Gor).

Il est également rare sur l'Atlas saharien algéro-oranais.

- *Carthamus carthamoïdes* et *Polygala rosea* subsp. *rosea* Qz et Santa.

En Oranie, nous avons rencontré ces deux espèces algéro-marocaines que dans ces groupements CV9 des Monts de Tlemcen.

Par ailleurs, les groupements mixtes à Chênes vert et zéen se différencient des groupements à Chêne vert (avec ou sans zéen) CV6, CV7 semi-arides, et CV10 subhumides supérieurs frais ( $m > + 1^{\circ}C$ ) tous trois sur terra rossa, ainsi que de tous les groupements à Chêne vert sur substrat calcaire par le groupe deux d'espèces préférentielles des groupements à Chêne vert sur terra rossa en étages humide inférieur et subhumide froids et frais (Tableau 1).

Ces groupements mixtes à Chênes vert et zéen CV9 se distinguent également des autres groupements à Chêne vert par la présence ou la plus grande présence-dominance de certaines espèces du groupe trois d'espèces préférentielles des groupements à Chêne vert en Oranie (Tableau 1) plus précisément par :

- La présence de : *Scrofularia laevigata* subsp. *pellucida*, *Silene velutinoïdes*, *Epipactis Helleborine* var. *platyphylla*, *Clematis vitalba*, *Dianthus caryophyllus* subsp. *virgineus*, *Carduus pteracanthus* var. *leptocladius*, *Cerastium brachypetalum* subsp. *lividum* et *Orchis longicornu*.

- La plus grande présence-dominance de : *Carex halleriana*, *Daphne gnidium*, *Linum tenuae* subsp. *Munbyanum*, *Pistacia terebinthus*, *Asparagus acutifolius*, *Anagallis Monelli* subsp. *collina* et *helianthemum Mubercii*.

En raison de leur signification floristique et écologique dans les groupements à Chêne vert, certaines des espèces pré-citées méritent un petit commentaire. Ce sont :

- *Pistacia terebinthus*.

Le Térébinthe présente son optimum écologique dans ces groupements mixtes à Chênes vert et zéen et dans ceux à Chêne vert pur, sur terra rossa en étages humide inférieur et semi-aride supérieur frais.

Comme il est assez rare dans les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert, et très exceptionnel dans la Subéraie, nous le considérons comme très caractéristique de la Chênaie verte.

Il se présente généralement sous forme arbustive. En effet, nous n'avons rencontré que deux Térébinthes arborescents à l'Ouest du Barrage de Béni-Badel, (sur la rive droite de la Tafna) en un lieu préservé par l'homme.

- *Linum tenuae* subsp. *Munbyanum*.

Ce lin présente son optimum écologique dans ces groupements à Chênes vert et zéen, donc sur terra rossa en étages humide inférieur et subhumide supérieur frais. Il est plus rare dans les groupements à Chêne vert des Monts du Tessala sur calcaire en étage subhumide supérieur frais et dans les groupements à Chêne liège en étages semi-aride supérieur et subhumide. Il disparaît dans tous les groupements à Chêne vert sur calcaire et situés en dehors des Monts du Tessala.

Comme, en outre, *Linum Munbyanum* marque une préférence pour l'ombre et une relative in+ différence à la nature du substrat, on est amené au vu de ce qui précède, à conclure que sa présence est davantage conditionnée par le facteur humidité.

- *Helianthemum Mubercii*.

Cet hybride entre *Helianthemum pilosum* (L.) Pers. var. *pergamaceum* (Pomel) M. et *Helianthemum virgatum* (Desf.) est rare en Oranie. Nous l'avons surtout rencontré dans les groupements CV9 de la région de Terni, plus rarement dans les Monts du Tessala et très exceptionnellement au-dessus des ruines de Mansourah situées au Sud-Ouest de Tlemcen.

Cet hélianthème marque donc une préférence pour les groupements à Chêne vert en étages humide inférieur et subhumide supérieur frais.

Les groupements à Chêne vert et zéen CV9 se différencient, en outre, de l'ensemble des autres groupements à Chêne vert par la richesse en espèces du groupe quatre d'espèces communes aux groupements à Chêne vert et aux groupements mixtes à Chêne vert et Pin d'Alep (Tableau 1).

Il paraît utile d'insister ici sur les espèces les plus caractéristiques et suivantes de ce groupe :

a) Espèces montrant une plus grande fréquence dans les groupements à Chêne vert.

- *Juniperus oxycedrus* subsp. *rufescens*.

La sous-espèce *rufescens* de ce Genévrier se rencontre uniquement à l'intérieur du Tell au Sud de l'Atlas plissé et de Tlemcen par opposition à la sous-espèce *macrocarpa* se développant seulement sur les dunes littorales.

Aussi, au cours de la présente publication, chaque fois que nous citerons le Genévrier oxycèdre, il s'agira de la sous-espèce *rufescens*.

Bien que ce Genévrier soit le compagnon le plus fidèle du Chêne vert, en Oranie, il existe une région où on ne les trouve pas ensemble.

C'est sur l'Atlas plissé et plus particulièrement sur les Monts des Benichougran et du Tessala où le Chêne vert constitue des peuplements purs sans Genévrier oxycèdre.

Il semble que l'absence de ce dernier corresponde surtout à des valeurs de la continentalité M-m inférieures ou égales à 30°C et à un degré moindre, à des valeurs de m légèrement supérieures à +1°C.

Par ailleurs, il faut remarquer que *Juniperus oxycedrus* subsp. *rufescens* prédomine d'autant plus sur *Quercus ilex* que les groupements dans lesquels ils se trouvent associés sont dégradés.

Rappelons, enfin, qu'en Oranie il n'existe pas de groupements purs à Genévrier oxycèdre.

- *Helianthemum cinereum* subsp. *rubellum*.

Si cet Hélianthème marque une préférence très nette pour les groupements à Chêne vert, il faut également noter son absence dans ceux de l'Atlas plissé pour les mêmes valeurs de continentalité que celles du Genévrier oxycèdre.

Toutefois, cet hélianthème supporte moins bien qu ce dernier les excès d'humidité. En effet, il présente son optimum bioclimatique en étages subhumide inférieur et semi-aride supérieur froids et frais.

- *Genista cinerea* subsp. *ramosissima*.

Bien que ce Genêt atteigne son maximum d'extension dans les groupements mixtes à Chênes vert et zéen, il indique surtout et presque toujours la proximité du Chêne vert.

Comme nous le verrons ultérieurement, il est également assez fréquent dans les groupements à Chêne vert sur sol calcaire.

Ce n'est que très exceptionnellement qu'il déborde du secteur des groupements à Chêne vert (I<sup>1</sup> dans les Pinèdes avec Thuya).

- *Teucrium fruticans* var. *lanceifolium*.

Cette Germandrée caractérise très bien les groupements à Chêne vert, un peu mieux sur terra rossa que sur calcaire.

- *Leuzea conifera*.

La *leuzée* à cône atteint son maximum d'extension dans les groupements à Chêne vert et, à un degré moindre, dans les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert, aussi bien sur terra rossa que sur calcaire. Nous l'avons également remarquée, assez exceptionnellement, dans la Subériaie sur sol argilo-sableux.

b) Espèces montrant une fréquence voisine dans les groupements à Chêne vert et dans ceux à Pin d'Alep avec Chêne vert

- *Bupleurum rigidum*.

Ce Bupleurum ouest méditerranéen présente son amplitude écologique maximale dans les groupements à Chêne vert des Monts de Tlemcen ainsi que dans ceux à Pin d'Alep avec Chêne vert des Monts de Daïa. Dans tous les cas il indique la proximité du Chêne vert aussi bien sur terra rossa que sur calcaire.

- *Lotophyllus argenteus* (= *Argyrolobium Linnaeanum*).

Nous avons pu observer que, dans les groupements à Chêne vert, l'Argyrolobe de Linné se rencontre essentiellement sur terra rossa alors qu'elle est très rare sur substrat calcaire. Par contre, dans les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert, c'est l'inverse, puisqu'elle est mieux représentée sur calcaire que sur terra-rossa.

- *Iberis linifolia* subsp. *Balansae*.

Cet Iberis présente son amplitude écologique maximale dans les groupements CV9 donc sur terra rossa en étages humide inférieur et subhumide supérieur frais ; mais également dans les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert sur calcaire en étage subhumide inférieur froid.

c) Espèces montrant une plus grande fréquence dans les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert que dans ceux à Chêne vert.

- *Cistus villosus* var. *undulatus*.

Si ce Ciste se rencontre dans tous les groupements à Chêne vert oranais, il présente son maximum de présence-dominance dans les groupements à Pin d'Alep aussi bien sur terra rossa que sur calcaire.

- *Staehelina dubia*.

Bien que plus rare que *Lotophyllus argenteus*, *Staehelina dubia* est généralement associée à ce dernier.

Ces deux espèces caractérisent bien les groupements mixtes à Pin d'Alep et Chêne vert dans le secteur de *Leuzea conferta*.

Ces groupements mixtes à Chêne vert et zéen CV9 se distinguent également des autres groupements à Chêne vert par la richesse en espèces du groupe 5 suivant .

Ces groupements mixtes à Chênes vert et zéen CV9 se distinguent également des autres groupements à Chêne vert par la bonne présence-dominance des espèces du groupe cinq d'espèces forestières et des matorrals méditerranéens (Tableau 1).

Il paraît utile d'insister sur les espèces suivantes de ce groupe 5.

- *Lonicera implexa*.

Le Chèvrefeuille des Baléares présente son optimum écologique dans ces groupements CV9 sur terra rossa en étages humide et subhumide frais.

On le rencontre également, mais plus rarement, dans les autres groupements à Chêne vert, Thuya, Pin d'Alep et Chêne liège en étages subhumide froid et frais et semi-aride supérieur frais et chaud, indépendamment du type de sol.

Nous avons remarqué que cette espèce est d'autant plus sciaphile que le climat est sec et chaud.

- *Jasminum fruticans*.

Ce Jasmin atteint son maximum d'extension dans les groupements à Chêne vert sur calcaire et sur terra rossa, en étages semi-aride et subhumide supérieur froid et frais, ainsi que dans la Tétracinaie sur terra rossa subhumide chaude. Par contre, il est plus rare dans les groupements à Pin d'Alep et Chêne liège.

Retenons donc que ce Jasmin est plus fréquent à l'ombre dans les groupements à Chêne vert et à Thuya, et assez indifférent à la nature du substrat avec une légère préférence pour les terra rossa.

- *Quercus coccifera* et *Pistacia lentiscus*.

Il est à noter l'extrême rareté ou l'absence de ces deux espèces dans ces groupements à Chêne vert CV9 en raison du froid. Ces deux arbustes et plus particulièrement le premier disparaissent généralement lorsque  $m$  est inférieur à + 1°C.

Remarquons enfin l'importance de la présence-dominance ou de la dominance (3 à 4) de *Stipa tenacissima* (III<sup>1</sup>) sous des bioclimats aussi humides.

Ces bioclimats correspondent à ceux des régions d'Orange, Nîmes et Montpellier, et parfois, à des régions légèrement plus humides et froides que ces dernières.

Par ailleurs, ces groupements CV9 se caractérisent par la richesse en espèces (vingt et une espèces) du groupe six d'espèces des pelouse méditerranéennes sur sols argilo limono-sableux et par la bonne représentativité du groupe sept d'espèces transgressives des steppes semi-aride et aride liées à la dégradation des groupements à Chêne vert (Tableau 1).

Il semble utile d'ouvrir une parenthèse au sujet de la conception d'espèce transgressive au cours de la présente étude.

Sont considérées comme transgressives steppiques certaines espèces pouvant se rencontrer en étages humide ou subhumide, mais présentant leur optimum de présence-dominance dans les steppes semi-aride et aride. Il est bien évident que ces espèces steppiques sont à leur place normale en étages semi-aride et aride.

Dans ce groupe sept, les deux plantes suivantes peuvent servir d'exemple.

Ce sont :

- *Bromus squarrosus*.

Ce brome présente son optimum bioclimatique sur la bordure méridionale du Tell et la partie septentrionale des Hauts Plateaux steppiques en étages semi-aride froid et frais et peut se rencontrer plus rarement en étage aride et, exceptionnellement, à la limite septentrionale du Sahara.

- *Xeranthemum inapertum*.

Malgré une très large amplitude écologique (depuis les Sahels littoraux jusqu'aux Hauts-Plateaux) cette espèce atteint son maximum d'extension en étage semi-aride froid sur sol calcaire sur la portion des Hautes Plaines steppiques comprises entre El-Aricha et Ras-El-Ma (ex.Bedeau).

Sur le littoral, on la trouve uniquement mais plus rarement, en étages semi-aride et subhumide inférieur chauds dans les groupements mixtes à Thuya et Tizra (1) s'étendant sur le versant sud du Dj. Murdjadjo.

Ces groupements CV9, à Chênes vert et zéen, se différencient enfin et à un moindre degré, des autres groupements à Chêne vert d'Oranie par la richesse en espèces des groupes 7, 8, 9, 10, 11, 14 et 15 (Tableau 1).

Pour des raisons matérielles, de longueur de texte et de l'intérêt écologique et floristique relativement limité, nous ne commenterons pas ces groupes dans le détail dans le cadre de la présente publication.

## CONCLUSION

Dans le cadre de l'Ouest algérien, les groupements CV9 à *Quercus ilex* et *Quercus faginea* subsp. *tlemoensis* se différencient des autres groupements à Chêne vert ainsi que de tous les autres groupements oranais par la présence du groupe 1 d'espèces préférentielles des groupements mixtes à

(1) TIZRA est le nom vernaculaire de *Rhus pentaphylla*

à Chêne vert et Chêne zéen sur terra rossa en sous-étages humide inférieur et subhumide supérieur frais. (Tableau 1).

Parmi les espèces les plus caractéristiques de ce groupe, citons *Quercus faginea* subsp. *tlamcenensis*, *Viburnum tinus*, *Cephalaria leucantha* et *Ruscus aculeatus* les plus fréquemment associées.

Parallèlement, ces quatre dernières espèces servent également de lien de parenté entre les groupements CV9 et CV6 sur terra rossa. Précisons cependant que ces quatre espèces sont faiblement représentées (I<sup>1</sup>, I<sup>r</sup>) dans les groupements CV6, alors que dans les groupements CV9 leurs coefficients de présence-dominance varient entre IV<sup>+</sup> et III<sup>Ar</sup>.

Cet appauvrissement en espèces et en fréquence-dominance de ce groupe un s'explique essentiellement par un accroissement de la xéricité et à un degré moindre, du froid, en passant des groupements CV9 aux CV6. Les groupements à Chênes vert et zéen CV9 se distinguent, également, de tous les autres groupements oranais par la présence du groupe deux d'espèces préférentielles des groupements à Chêne vert sur terra rossa en étages humide inférieur et subhumide froids et frais (Tableau 1).

Les groupements CV9 se distinguent enfin, à un degré moindre, des autres groupements à Chêne vert par la plus grande présence-dominance (ou par la présence de certaines espèces des groupes 3, 4, 5, 6 et 7 déjà cités dans le texte précédent).

Parmi ces espèces, il semble intéressant de rappeler l'absence, ou l'extrême rareté de *Quercus coccifera* (1 fois présente) et de *Pistacia lentiscus* (I<sup>r</sup>) dans les groupements CV9.

L'absence du Chêne Kermès dans la quasi totalité des groupements à Chêne vert constitue une des originalités floristiques oranaises. En effet, dans le domaine de la Chênaie verte, le Chêne Kermès ne se rencontre que dans les groupements à Chêne vert CV1 et CV10 des Monts du Tessala et une seule fois dans les groupements CV9 de la région de Terni. On en déduit donc que *Quercus coccifera* joue le rôle de différentielle entre les groupements à Chêne vert des Monts du Tessala et ceux du reste de l'Oranie. Quoiqu'il en soit, le Chêne Kermès se présente toujours à l'état arbustif dans le secteur de la Chênaie d'Yeuse de notre territoire.

Signalons enfin, qu'il se différencie du Chêne Kermès français par la taille de ses feuilles 2 à 3 fois plus grandes.

Tous les groupements à Chêne vert sur terra rossa CV6, CV7, CV8 et CV9 se rencontrent sur la partie haute de l'Atlas tabulaire et se trouvent apparentés par la présence du groupe d'espèces préférentielles du groupements à Chêne vert sur terra rossa suivant :

*Anthyllis vulneraria* subsp. *saharae*  
*Micropus supinus*  
*Phlomis crinita* subsp. *Mauritanica*  
*Genista tricuspidata* subsp. *tricuspidata*  
*Cotyledon breviflora* subsp. *intermedia* var. *rubella*  
*Erysimum incanum*  
*Iberis odorata*.

Parallèlement, ce même groupe permet de différencier les groupements à Chêne vert sur terra rossa CV6, CV7, CV8 et CV9 de tous les autres groupements oranais.

Tous les groupements à Chêne vert sur terra rossa se trouvent également liées par un lot d'espèces communes appartenant aux groupes 3 (ou 4) d'espèces préférentielles des groupements à Chêne vert en Oranie. Ces mêmes groupements peuvent se différencier par un autre lot d'espèces appartenant à ces mêmes groupes. Il serait long de revenir sur la composition détaillée de ces lots d'espèces déjà mentionnées et commentées dans le texte.

Quoiqu'il en soit, il semble intéressant de rappeler la disparition importante du nombre de ces espèces en passant des groupements CV9 aux CV10, CV6, CV7 et CV8 en rapport avec l'accroissement de la xéricité et à un degré moindre du froid ; mais aussi en raison de l'appauvrissement du sol en matière organique et de la diminution de sa profondeur. (trente et une espèces dans CV9, contre

dix sept, seize, quatorze et douze respectivement dans CV10, CV6, CV7 et CV8).

Le Chêne zéen paraît occuper, en Oranie, sensiblement la même place écologique que le Chêne pubescent, en Roussillon, au contact des Chênes vert et liège en étagement altitudinal normal et en inversion d'étage (dans cette dernière disposition en raison du phénomène de compensation édaphoclimatique). Rappelons enfin, que dans le cadre de notre étude, le Chêne zéen se rencontre pour des valeurs de :

$$36 < Q2 < 106$$

$$\text{et } -1^{\circ}\text{C} < m < +2^{\circ}\text{C}$$

c'est-à-dire entre le sous-étage humide inférieur frais et le sous-étage semi-aride moyen froid et frais. Il se trouve donc en Oranie mieux adapté à la sécheresse que le Chêne liège et presque aussi bien à cette dernière que le Chêne vert. Par contre, le Chêne zéen se trouve presque aussi bien adapté au froid que le Chêne liège et bien moins au froid que le Chêne vert. (Les Chênes vert et liège constituent les compagnons ou concurrents habituels du Chêne zéen).

Les valeurs de Q2 et m du tableau suivant confirment et précisent les comportements respectifs de ces 3 espèces-climax.

Espèces-climax	Valeurs de Q2	Valeurs de m
Chêne zéen	36 < Q2 < 106	-1°C < m < +2°C
Chêne liège	54 < Q2 < 190	-1,5°C < m < +10°C
Chêne vert	32,5 < Q2 < 189	-5,7°C < m < +5,8°C

La présence du Chêne zéen pour des valeurs minimales de Q2 égales ou supérieures à 36 dans les groupements CV6 (au Sud-Ouest de Sebdu) peut s'expliquer par des phénomènes de compensation édapho-climatique. Plus particulièrement, par la profondeur du sol (1,5 mètre) et sa nature : rendzines rouges avec un horizon A perméable et aéré et un horizon B plus argileux que le A permettant une meilleure rétention de l'eau ; mais aussi par la présence de nappes phréatiques dans le sous sol à moins de 20 mètres de profondeur par endroit.

Retenons, enfin, que les groupements mixtes à Chêne vert et Chêne zéen ne se trouvent que sur terra rossa toujours plus profonde, plus riche en matière organique et argile que les sols des autres groupements végétaux se rencontrant en Oranie.

Ces terra rossa sont les plus évoluées de cette région avec parfois, un horizon A1 brun humifère en surface recouvrant un deuxième horizon A2 marron rouge.

#### BIBLIOGRAPHIE

ALCARAZ C. et SANTA S. (1968). Flore des Sahels, des Basses Plaines, des Plateaux et des Sebkhass de l'Oranie septentrionale. Manuscrit dactylographié de 245 p., 38pl. représentant 578 espèces (certaines avec plusieurs figures).

ALCARAZ C. (1969). Etude géobotanique du Pin d'Alep dans le Tell oranais, 183 p., annexe avec 24 tab., 9 cartes, 6 graph. (parue ronéotypée pour la soutenance de la Thèse de Doctorat de spécialité, Montpellier).

- ALCARAZ C. (1969). Principaux types de successions géographiques concernant le Pin d'Alep et ses principales espèces-climax concurrentes dans le Tell oranais.  
*Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 60 : 103-115.
- ALCARAZ C. (1970). Détermination de la limite de l'influence de la brise marine, son action sur la répartition de la végétation oranaise.  
*Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 61 : 87-93.
- ALCARAZ C. (1976). Recherches géobotaniques sur la végétation de l'Ouest algérien.  
*Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 67 : 13-36.
- ALCARAZ C. (1977). Contribution à l'étude de la végétation dunaire du littoral oranais (Ouest algérien).  
*C.R. Acad. Sc. Paris.*, t. 284.
- ALCARAZ C. (1977). Carte de la végétation d'Oran au 1:500.000ème.  
*Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*.
- ALCARAZ C. (1979). La Callitriale sur sol calcaire en sous-étage semi-aride chaud en Oranie.  
*Candollea* : 34 : 247-271.
- ALCARAZ C. (1979). Etude de la Junipéraise littorale oranaise.  
*Biologie et Ecologie Méditerranéenne*, tome VI, n°1.
- ALCARAZ C. (1982). La végétation de l'Ouest algérien - 3 vol : vol 1 : 415 p. : vol 2 : 24 grph et tab + 13 cartes dont 1 carte au 1:500.000ème en couleur ; vol 3-116 p. tabl. phyto.  
*Thèse d'Etat, parue ronéotypée, Perpignan.*
- ALCARAZ C. (1983). La Tétraclineaie sur terra rossa en sous étage subhumide inférieur chaud en Oranie (Ouest algérien).  
*Ecologia Mediterranea*, tome IX, Fasc. 2.
- BARBERO M., LOISEL R. et QUEZEL P. (1974). Phytosociologie et Taxonomie en région méditerranéenne.  
La flore du bassin méditerranéen - Essai de systématique synthétique.  
*CNRS Montpellier* : 469-479.
- BARBERO M., LOISEL R. et QUEZEL P. (1974). Problèmes posés par l'interprétation phytosociologique des Quercetea ilicis et des Quercetea pubescentis.  
*Coll. Intern. CNRS*, n°235, 481-497, Montpellier.
- BARBERO M. et QUEZEL P. (1976). Les groupements forestiers de Grèce centro-méridionale.  
*Ecologia Mediterranea*, 2, Marseille, 1-86.
- BARBERO M., QUEZEL P. et RIVAS MARTINEZ S. (1980). Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc.  
*Sous-presse, Phytocoenologia*.
- BRAUN-BLANQUET J. (1952). Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. CNRS (service de la Carte des Groupements Végétaux) et Direction de la Carte des Groupements Végétaux de l'Afrique du Nord.

- EL HAMROUNI A. et LOISEL R. (1979). contribution à l'étude de la Tétracлинаie tunisienne : les groupements des djebels Bou Kornine et Ressayas.  
*Ecologia Mediterranea* n°4.
- EMBERGER L. (1938). Aperçu général sur la végétation du Maroc ; commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1:1.500.000ème.
- EMBERGER L. (1952). Phytogéographie. Sur le quotient pluviothermique.  
*Compt. Rend. Hebd. Séances Acad. Sci.* 234 : 2508-2510.
- LE HOUEROU H.N. (1969). La végétation de la Tunisie steppique.  
*Ann. Inst. Natl. Rech. Agron.*, vol. 42, Fasc. 5.
- LOISEL R. (1967). Contribution à l'étude biologique des Pins de Basse-Provence.  
*Thèse de spécialité, Marseille.*
- LOISEL R. (1968). Possibilité d'extension des aires de répartition de Pinus halepensis, Pinus meso-  
geensis et Pinus pinea.  
*Ann. SSNATV* : 73-82.
- LOISEL R. (1971). Contribution à l'étude des Cistaies calcifuges de Provence.  
*Ann. Univ. Provence*, XLVI : 63-81.
- LOISEL R. (1971). Séries de végétation propres, en Provence, aux massifs des Maures et de l'Esterel  
(Ripisylves exclues).  
*Bull. Soc. Bot. France*, 118 : 203-236.
- LOISEL R. (1976). La végétation de l'étage méditerranéen dans le Sud-Est continental français. 384 P.+  
encartage avec tabl., graph., carte.  
*Thèse de Doctorat d'Etat, Marseille.*
- OZENDA P. (1958). Flore du Sahara septentrional et Central.  
*CNRS, Paris.*
- QUEZEL P. (1956). Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie.  
*Mémoires Soc. Hist. Nat. Afr. Nord* 1 : 57 p., 3 cartes, 4 tabl., 6 pl. h.t.
- QUEZEL P. (1957). Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord : 436 p., 7 schémas,  
20 graph., 23 cartes, 22 ph., 34 tableaux.  
*Thèse Doctorat es-sciences. Lechevalier, Paris.*
- QUEZEL P. et SANTA S. (1962-63). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales  
*CNRS, Paris* : 2 vol. : 1 : 570 p., 2 : 571-1170, 42 cartes, 20 ph., 112 pl.

- QUEZEL P. et SANTA S. (1964). Flore complétive de l'Algérie et des régions désertiques méridionales -  
manuscrit dactylographié de 302 p., supplément au tome 1 du n° 283.
- QUEZEL P. et LOISEL R. (1968). A propos de la biologie des Pins méditerranéens en Provence.  
*IBP, CI, Proc. Technical Meeting, Hammamet*, 15 p.
- QUEZEL P. (1976). Les forêts du pourtour méditerranéen : écologie, conservation et aménagement.  
*UNESCO. Note technique du MAB, 2, 9-33.*
- QUEZEL P. (1979). La région méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification  
écologique dans le contexte circum-méditerranée.  
*La Forêt Méditerranéenne, T.I., n°1, 7-73.*
- SAUVAGE Ch.(1961). Flore des Subéraies marocaines. Catalogues des Cryptogames vasculaires et des  
Phanérogames. trav.  
*Inst. Sci. Chérifiens. Sér. Bot. : 22.*
- SCHONENBERGER A. et GOUNOT M. (1966-67). Carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale,  
feuille I, II, III, IV et V. au 1/200.000e, avec notices.  
*Ann. Inst. Natl. Rech. Agron. : 40.*

## **Echantillonnage, paramètres, hiérarchie contraintes de l'information écologique, en vue de la protection des espaces :**

**l' exemple des ZNIEFF en région Provence-  
Alpes-Côte d'Azur ( P.A.C.A.)**

**M. BARBERO\***  
**H. BRISSE\***  
**P. QUEZEL\***

*RESUME - L'objectif du Ministère de l'Environnement d'établir dans chaque région, par une approche multidisciplinaire, des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique, à partir d'une méthodologie nationale commune, a rencontré plusieurs difficultés en région PACA, liées principalement :*

- à des contraintes d'échantillonnage et de paramètres à échantillonner ;
- à des problèmes de taille des ZNIEFF, et donc d'échelle, et, au sein de chacune d'elle, de mailles et de niveaux d'organisation de l'information ;
- à des réflexions sur la structuration des unités et donc sur le zonage compte tenu des disparités existant, en particulier pour la faune, entre la biologie des populations d'invertébrés et celle de grands rapaces par exemple.

*Les auteurs, qui ont analysé ces contraintes, proposent néanmoins un essai de classement des ZNIEFF en prenant en compte :*

*\* soit des concepts classiques pour les secteurs de large amplitude altitudinale (variabilité altitudino-spatiale, exposition, topographie, principales unités dynamiques) ou pour les structures géopédologiques (nature de la roche, microtopographie, catena de sols)-(ZNIEFF sectorielles).*

*\* soit le concept d'écocomplexes pour les ZNIEFF répondant à des répartitions micro-régionales et réunissant, dans une zone, plusieurs écosystèmes interactifs et dont les infrastructures écologiques sont bien caractérisées avec des niveaux d'hétérogénéités intrasystèmes ou intersystèmes suivant les situations d'échanges ou de transfert.*

*En conclusion, les auteurs abordent diverses questions :*

- ZNIEFF et aménagement notamment sur le littoral où les pressions du bâti et la fréquentation sont fortes ;
- ZNIEFF et non usage en raison souvent de la dépopulation de très nombreux territoires en déprise rurale où se posent des problèmes aigus de gestion pour le maintien de la diversité.

*Une réflexion se dessine : comment gérer la diversité dans les nouveaux systèmes dynamiques qui se mettent en place (fruticées et préforêts) qui banalisent des milieux biologiquement très riches ?*

*SUMMARY - The goal of the Environmental Ministry to establish zones of ecological, faunal and floral importance using a multidisciplinary approach in each region based on a common national methodology encountered several difficulties in the Provence-Alps-French Riviera (PACA) region due primarily to :*

- constraints for sampling and parameters to be sampled ;
- problems of the size of the ZNIEFF (National Zones of Ecological, Faunal and Floral Importance), i.e. the scale, and the ecological links, the organizational level of information within each zone ;

\*Université d'Aix-Marseille III, Faculté de Saint-Jérôme, Laboratoire de Botanique et Ecologie méditerranéenne (case 461), Avenue escadrille Normandie-Niemen, F 13397 Marseille Cedex 13.

- reflexions on unit structure, and thus on the zoning considering the differences which exist, particularly for fauna, between the biology of, for example, invertebrate populations and that of the large predatory birds.

The authors who analyzed these constraints nevertheless propose a trial ranking of the ZNIEFF which includes :

\* either classic concepts for sectors with a large altitudinal range (altitudinal-spatial variability, exposure, topography, main dynamic units) or for geopedological structures (nature of rock, microtopography, soil catena)-(sector ZNIEFF) ;

\* or the concept of ecocomplexes for ZNIEFF which had microregional distributions where several interactive ecosystems were included within one zone and whose ecological ecosystems were well-characterized with levels of intrasystem or intersystem heterogeneities depending on the exchange or transfer situations.

In conclusion, the authors examine several different points :

- ZNIEFF and land management, particularly on the coastline where building and tourist pressures are high ;

- ZNIEFF and non-usage often due to rural depopulation in a large number of territories where crucial problems of management and diversity need to be dealt with.

An area for reflexion appears on how to manage diversity in new dynamic systems which are in the process of being installed (fruticeae and preforests) and which make highly rich biological environments commonplace.

Mots-clés : Environnement, région PACA, ZNIEFF

## I - AVANT - PROPOS

En 1982 le Ministère de l'Environnement a décidé un inventaire, pour la France et l'Outre-mer, des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Le cadre méthodologique de cette opération ambitieuse a été élaboré par le Secrétariat de la Faune et de la Flore du Muséum National d'Histoire Naturelle. Par rapport aux inventaires précédents, conduits selon des objectifs thématiques et disciplinaires (inventaire des espèces végétales rares ou menacées, inventaire des oiseaux nicheurs par exemple, etc.), l'objectif fixé a été celui d'une approche par milieux à partir d'une information anciennement ou récemment collectée, en particulier dans des régions ou des microrégions jusque-là peu explorées. Pour réussir cette démarche un double objectif était visé :

- décentralisation régionale avec mise en place de comités scientifiques régionaux auxquels ont été adjoints des spécialistes amateurs connaissant très bien les espèces rares et les biotopes où elles se rencontrent et évoluent. Pour la région PACA l'un de nous, M. BARBERO, a présidé ce comité. Ces opérations de collecte, d'organisation et de stockage de l'information étaient confiées à L. OLIVIER, Directeur du Conservatoire de Botanique de Porquerolles ;

- typologie nationale où l'information écologique devait s'organiser autour de deux entités : de petites zones d'intérêt remarquable (type 1), de grandes zones biologiquement intéressantes (type 2) prenant en compte des territoires pouvant rassembler plusieurs écosystèmes répartis spatialement (BLANDIN et LAMOTTE, 1988 ; LEFEUVRE et BARNAUD, 1988).

Chaque zone identifiée, constituée elle-même d'ensembles hétérogènes à l'échelle spatiale et temporelle, fait l'objet d'une représentation cartographique globale au sein de laquelle divers descripteurs pouvaient être pris en compte et informatisés (surface cultivée, surface forestière, parcellaire local lorsqu'il s'agit d'une espèce très localisée rare ou menacée).

Une liste complète des espèces ou plutôt des caractéristiques essentielles de la zone doit permettre d'obtenir un aperçu synthétique sur sa constitution biologique. Cette liste devait être elle-même informatisée.

Tous ces objectifs louables se sont, en fait, rapidement heurtés à bien des difficultés de réalisation :

- humaines : liées surtout aux déséquilibres régionaux dus à une inégalité de la représentation scientifique compétente et de la répartition des spécialistes pouvant fournir l'information et de plus en plus rares selon les groupes systématiques, notamment pour les invertébrés ;

- maillage et représentativité réelle de l'information collectée : certaines régions ont été largement prospectées pour de simples raisons d'attrait, voire de proximité de grands centres de recherches ou de localisation de milieux associatifs très dynamiques ; d'autres ne l'ont que peu été car jugées, souvent à tort, trop peu intéressantes pour leurs milieux : cultures, ensembles préforestiers, lisières (FRÖCHOT, 1987). Cet aspect relatif à la pertinence et à la représentativité de l'échantillonnage ayant contribué à la caractérisation

des ZNIEFF ne doit surtout pas conduire à la conclusion selon laquelle l'absence d'inventaire localisé signifie l'absence d'intérêt écologique floristique et faunistique dans un secteur non référencé à l'inventaire ;

- difficultés d'organiser les listes d'espèces caractéristiques sur des bases rigoureuses d'échantillonnage : les ZNIEFF étant souvent des assemblages d'écocomplexes interactifs, il aurait fallu fournir des listes d'espèces principales par écosystèmes ce qui aurait considérablement retardé la collecte d'une information, en forme de "zoom", que le Ministère voulait rapide sur le territoire national.

Cette seule remarque suffit à mettre en lumière le fait qu'il serait hasardeux d'utiliser globalement ces fiches pour justifier des aménagements sans des études plus affinées à grande échelle.

Aussi, l'application des directives nationales s'est rapidement posée en terme d'échantillonnage : paramètres disponibles à échantillonner, hiérarchie de ces paramètres et leurs niveaux d'organisation, compte tenu de l'hétérogénéité des écosystèmes et de leurs écocomplexes, et de contraintes liées aux évolutions plus ou moins rapides de leurs structures spatiales, en particulier aujourd'hui des agrosystèmes, en raison d'une déprise rurale de plus en plus forte.

## II - OBJECTIFS REGIONAUX

L'étude a été engagée avec le souci de conserver la meilleure relation avec les objectifs nationaux, notamment au niveau du calibrage de l'information. Mais, on s'est rapidement aperçu que l'information devait être présentée en fonction des hétérogénéités mises en évidence au sein de chaque ZNIEFF responsables, pour une large part, du maintien de la diversité :

- diversité spécifique et génétique en vue d'une politique de conservation prenant en compte, pour une même ZNIEFF, un maximum de situations écologiques différentes pour une même espèce afin d'assurer une combinaison optimale de gènes dans un système populations-environnement ;

- diversité écologique et paysagère sous l'angle du fonctionnement des systèmes écologiques interactifs où se localisent les espèces à conserver et les paysages qui sont le support des structures et des fonctions (FORMAN et GODRON, 1986 ; FORMAN, 1987).

Les ZNIEFF regroupent donc plusieurs situations pour les espèces assemblées de façons différentes suivant les zones en fonction des conditions climatiques, géopédologiques et des usages (DEFFONTAINES, 1982).

Une telle conception écopaysagère, orientée vers les questions d'utilisation du territoire, de conservation des espèces animales et végétales a été largement explorée par les écoles néerlandaises (TJALKINGII et de VEER, 1988) et danoises (BRANDT et AGGER, 1984) du paysage.

Pour attribuer le qualificatif de ZNIEFF, il faut que les éléments d'information biologiques recueillis soient incontestables, c'est-à-dire suffisamment nombreux et redondants, pour les différentes disciplines, dans une même zone, de façon à leur donner un contenu biologique et patrimonial fondé. Il fallait donc que l'information collectée soit suffisamment calibrée pour ne pas donner lieu à la mise en place de propositions de ZNIEFF injustifiées au plan de la diversité.

Plusieurs phases ont guidé les participants du comité scientifique régional PACA :

\* une phase préalable, réalisée par les experts recrutés, d'analyse de base et de collecte des données bibliographiques accessibles publiées ou récentes, fournies par différents correspondants locaux souvent en vue de confirmer ou d'infirmer les données non vérifiées depuis longtemps. Ce bilan déjà effectué à propos des espèces rares avait mis en évidence des cascades de disparitions d'espèces sur le littoral ;

\* une phase intermédiaire où ces documents ont permis l'élaboration d'un prézonage localisant des zones de grande richesse et diversité biologique et écologique sur lesquelles le comité scientifique s'est penché ;

\* la troisième phase a consisté au choix des ZNIEFF et à la validation de leur zonage après discussions entre les différents spécialistes scientifiques.

Il était en outre nécessaire que la région PACA puisse s'intéresser à son patrimoine marin exceptionnel en proposant un zonage littoral (Pr. BOUDOURESQUE, Aix-Marseille II) qui, fait intéressant, recouvre parfaitement, au niveau conceptuel, les notions d'écocomplexes.

Enfin, les données relatives aux eaux douces (Pr. GUIDICELLI, Aix-Marseille III) ont été recueillies selon des méthodes d'évaluation propres liées à une nécessité d'apporter une réponse intégrée aux schémas départementaux de vocation piscicole engagés par le Ministère de l'Environnement.

Le comité scientifique des ZNIEFF PACA a donc eu pour souci permanent d'adapter la méthodologie nationale au cadre régional et de répondre en terme de recherche régionale à des objectifs plus théoriques.

Il a élaboré les documents de base et les épures de zonage lors de discussions au cas par cas sur les limites des ZNIEFF et le contenu de l'information : choix de zones, diversité, catégories, situation par rapport à certains concepts (variabilité, niveaux d'hétérogénéité, taches, connectivités). Le comité a également contrôlé et calibré les données de terrain obtenues par les chargés de mission auprès d'un réseau de correspondants (amateurs, associations, personnes morales).

Par ailleurs, un inventaire de ce type représentant une méthode lourde de description des éléments les plus marquants du patrimoine naturel, il fallait veiller à tenir en permanence le cap des objectifs fixés :

- valorisation et conservation locale du patrimoine dans des zones vraiment justifiées. Pour cela le comité scientifique a dû arbitrer en permanence, à contrecourant souvent, une tendance hyperprotectionniste ;

- donner des éléments d'information incontestables aux collectivités qui ont à connaître la valeur du patrimoine naturel à l'occasion de projets d'aménagement. On pourra à cet égard regretter le caractère non réglementaire des ZNIEFF ;

- fournir des documents accessibles au plus grand nombre et donc de grande valeur pédagogique ;

- faire entrer le maximum d'espèces protégées par la loi de 1976 dans les épures du zonage.

### III - BASES DE L'ECHANTILLONNAGE ET PROBLEMES D'ECHELLE

Pour certains comités scientifiques régionaux, comme celui de Rhône-Alpes, le choix s'est porté vers une représentation cartographique des ZNIEFF sur une carte synthétique de la région, au 250.000 ème résultant d'un transfert d'informations répertoriées et saisies au 1/100.000 ou au 1/50.000 ème, soit une centaine de feuilles destinées à une meilleure information scientifique des administrations, des collectivités départementales et communales. D'autres régions ont publié aussi et diffusé largement des cartes au 1/100.000 ème (Poitou-Charentes, Haute-Normandie) ou au 1/200.000 ème (Pays de Loire et Limousin) (BEAUFORT (de) F. et MAURIN H., 1988 a et b).

En Provence, pour mieux préciser leur contenu scientifique et pédagogique et pour en faire des outils généraux en vue d'une politique locale de conservation à l'occasion de P.O.S., périmètres sensibles, arrêtés de biotopes, l'échelle choisie a été le 100.000 ème. L'approche a pu ainsi, à cette échelle, se recentrer au niveau de chaque département où l'on a pu réunir et constituer dans la collecte des données de terrain un réseau de personnalités au fait des questions d'environnement qui se posent dans les départements et souvent plus particulièrement dans les communes, en raison de l'application de la loi sur le transfert des compétences (1982).

Cela présentait aussi un avantage : les cartes et recueils départementaux pouvaient être plus directement utilisables par les services des Préfectures, les D.D.E., D.D.A., O.N.F., etc.

Les fiches correspondant aux zones sont numérotées et répertoriées selon un système propre permettant facilement un transfert sur les données fournies à l'Inventaire National des ZNIEFF. Elles présentent également l'intérêt de renvoyer au lieu-dit le plus intéressant de la zone et surtout de mentionner les communes concernées, la superficie approximative de la zone en hectares et la gamme des altitudes dans les secteurs.

Le parti pris départemental ne pouvait qu'entraîner des distorsions dans le nombre de zones d'un département à l'autre. Le tableau ci-après donne une idée de ces fluctuations.

Départements	nb. de zones	superficie en ha	superficie du département	% ZNIEFF par département
04	91	217.766	699.880	31.1
05	67	217.245	564.300	38.5
06	107	337.397	429.800	78.5
13	83	232.178	524.800	44.2
83	126	140.431	602.300	23.3
84	70	126.376	357.800	35.3
TOTAL REGION	544	1.271.573	3.178.800	40.0

TABLEAU 1

Ces distorsions sont en partie naturelles compte tenu des différences des richesses biologique et écologique des départements. Par exemple, si on classe ces derniers par étage de végétation, on se rend très bien compte des disparités altitudino-spatiales.

Etages	+	(bien développé)	;	e	(enclaves)	;	.	(absent)
alpin	+	.	.	.	.	+	+	
subalpin	+	.	.	e	.	+	+	
orosubméditerranéen	e	.	.	e	.	e	.	
montagnard	+	.	.	+	.	+	+	
montagnard-méditerranéen	+	+	.	+	.	+	+	
collinéen médioeuropéen	e	e	.	e	.	e	+	
collinéen supraméditerranéen	+	+	+	+	.	+	+	
mésoméditerranéen	+	+	+	+	.	+	.	
thermoméditerranéen	+	+	.	.	.	.	.	
Départements	06	83	13	84	04	05		

TABLEAU 2

A cette diversité des étages de végétation ne correspond pas forcément un nombre plus important de zones recensées. Cela est dû souvent à l'expression sectorielle et microrégionale des facteurs écologiques et donc des ensembles d'écosystèmes (LONG, 1974 et 1985). Par exemple, la très grande diversité des systèmes thermo- et méso-méditerranéens, littoraux et juxtalittoraux, dans le département du Var fait monter le nombre des ZNIEFF plus que dans les Alpes Maritimes où les zones littorales sont plus réduites.

Une toute aussi grande variabilité écologique existe dans l'étage mésoméditerranéen des Bouches-du-Rhône avec les milieux très spécialisés de la Crau sèche et humide et de la Camargue qui, pour un département qui ne couvre que deux étages de végétation, fait largement dépasser en nombre les ZNIEFF (83) par rapport à un autre département comme le Vaucluse qui couvre un nombre important d'étages et ne compte que 70 zones. Des disparités de superficie existent aussi d'un département à l'autre.

Avec 544 ZNIEFF recensées, la région PACA qui présente tous les étages de végétation médioeuropéens et de surcroît l'intégralité des ensembles méditerranéens, extrêmement diversifiés, du territoire national, se situe nettement au-dessous, du point de vue du nombre de ZNIEFF, de la région Rhône-Alpes qui en compte 1850. De tels écarts traduisent des appréciations interrégionales différentes de contenu que les scientifiques eux-mêmes ont donné au concept de ZNIEFF en se référant plus aux espèces rares spatialement séparées (espèces animales ou végétales), qu'à une diversité écologique (présence d'un maximum d'espèces végétales et animales rares ou protégées au sein d'écosystèmes ou d'écocomplexes). Ainsi, en région Rhône-Alpes, beaucoup de ZNIEFF ont été définies par rapport à une qualité ornithologique ou herpétologique ou des seuls végétaux.

En fait, en région PACA, ce n'est pas tant sur le nombre de ZNIEFF que sur leur superficie que des disparités interdépartementales existent, puisque globalement les spécialistes ont été d'accord pour en proposer la création d'une, chaque fois qu'existaient localement des enjeux majeurs de conservation de la diversité génétique des systèmes populations-environnement-écocomplexes. Les variations interdépartementales portent sur les surfaces qui ont donné lieu, suivant les spécialistes, à des différences notables d'appréciation. Ainsi, les 107 ZNIEFF des Alpes Maritimes occupent 78,5 % du territoire (337.397 ha) alors que les 126 ZNIEFF du Var n'en touchent que 23,3 % (140.431 ha).

Les mêmes disparités interrégionales apparaissent lorsqu'on compare les surfaces totales prises en compte par les ZNIEFF :

- 1850 ZNIEFF (1 et 2) pour 2.500.000 ha en Rhône-Alpes ;
- 544 ZNIEFF (1 et 2) pour 1.271.573 ha en PACA.

La taille moyenne des ZNIEFF PACA (2.336 ha) est donc plus importante que celle de Rhône-Alpes (1.356 ha).

Bien sûr, ces disparités montrent qu'il sera difficile de pratiquer une standardisation des données à l'échelle du territoire national. Ce débat ardu a déjà eu lieu au niveau interdépartemental lorsqu'il a fallu définir des limites et un contenu aux ZNIEFF à cheval sur deux ou plusieurs départements.

#### IV - DESEQUILIBRES ET CONTRAINTES D'OCCUPATION DE L'ESPACE

Certaines disparités d'échelle ont pour origine la structure actuelle imposée de l'occupation de l'espace par le bâti et les grands aménagements structurants (routes, autoroutes, canaux) qui ont largement morcelé des biotopes au départ unifiés.

En vue d'une conservation fonctionnelle des espèces dans leurs écosystèmes et dans un maximum de situations, la multiplication de ZNIEFF de petite surface s'est naturellement imposée. Tel a été le cas sur le littoral méditerranéen où diverses espèces végétales protégées ou menacées sont perturbées dans leurs biotopes par des pressions d'aménagement directes ou extérieures et à distance comme le drainage, les travaux forestiers de débroussaillage, en vue de D.F.C.I. (défense des forêts contre les incendies), le nettoyage et l'entretien des dunes-plages.

Certaines disparités d'échelle ont pour origine la structure actuelle imposée de l'occupation de l'espace par le bâti et les grands aménagements structurants (routes, autoroutes, canaux) qui ont largement morcelé des biotopes au départ unifiés.

En vue d'une conservation fonctionnelle des espèces dans leurs écosystèmes et dans un maximum de situations, la multiplication de ZNIEFF de petite surface s'est naturellement imposée. Tel a été le cas sur le littoral méditerranéen où diverses espèces végétales protégées ou menacées sont perturbées dans leurs biotopes par des pressions d'aménagement directes ou extérieures et à distance comme le drainage, les travaux forestiers de débroussaillage, en vue de D.F.C.I. (défense des forêts contre les incendies), le nettoyage et l'entretien des dunes-plages.

Ainsi, en zones littorales et juxtalittorales méditerranéennes de nombreuses espèces protégées par les arrêtés du 20 janvier 1982 et du 15 septembre 1982) sont menacées par ces formes de pression.

Nous en donnons ci-après la liste éloquent :

*Centaurea pseudocineraria*, *Delphinium staphysagria*, *Gratiola officinalis*, *Helianthemum lavandulaefolium* et *H. marifolium*, *Heteropogon contortus*, *Lavatera maritima*, *Lythrum thymifolium*, *Matthiola tricuspidata*, *Moricandia arvensis*, *Nerium oleander*, *Quercus crenata*, *Ranunculus canuti*, *R. millefoliatus*, *R. ophioglossifolius* et *R. revelieri*, *Rumex tuberosus*, *Tamarix africana*, *Teline linifolia*, *Thymelaea tartonraira*, *Vitex agnus-castus*, *Viola arborescens*, *Allium chamaemoly*, *Ampelodesmos mauretanica*, *Carex grioleti*, *Chamaerops humilis*, *Colchicum cupani*, *Leucoium hiemale*, *Merendera filifolia*, *Ophrys bertoloni*, *O. speculum* et *O. tenthredinifera*, *Orchis longicornu* et *O. saccata*, *Peribalia minuta*, *Ruscus hypophyllum*, *Serapias neglecta* et *S. parviflora*, *Spiranthes aestivalis*, *Isoetes durieui*, *I. hystrix*, *I. velata* et *I. setacea*, *Ophioglossum azoricum*.

Le choix d'une multiplication des ZNIEFF sur de petites surfaces (taches), là où nombre de ces espèces croissent ensemble, s'est justifié dans un but de conservation du patrimoine génétique et dans des biotopes dispersés, mais plus nombreux, où ces espèces, souvent en concurrence entre elles, ne sont représentées que par un petit nombre de spécimens. Cette notion de réserves minimales appartenant toutes à la catégorie 1 (richesse biologique exceptionnelle) a été proposée en vue de trouver des bases de protection réglementaires (arrêtés de 1982 pris en vertu de la loi de la protection de la Nature du 10 juillet 1976).

Ainsi, la ZNIEFF d'Eze (06) contient comme espèces protégées sur un petit territoire : *Ceratonia siliqua*, *Centaurea pseudocineraria*, *Leucoium hiemale*, *Colchicum cupani*, *Ophrys bertoloni* et *O. bombylifera*, *Heteropogon contortus*, *Lavatera maritima*, *Atractylis cancellata*.

La ZNIEFF de la Bouverie (83) réunit diverses espèces protégées de l'Isoétion : *Linaria cirrhosa*, *Isoetes durieui*, *I. velata* et *I. setacea*, *Ranunculus revelieri* et *R. ophioglossifolius*, *Gratiola officinalis*, *Serapias neglecta* et *S. grandiflora*.

Ces territoires littoraux devraient faire l'objet de mesures de conservation d'urgence sous forme d'arrêtés de biotopes et ce d'autant plus que dans l'inventaire ZNIEFF n'ont pas été prises en compte les superficies du mètre à quelques dizaines de mètres, où ne se trouvent qu'une ou deux espèces protégées. Cette situation est valable en divers points de la région et plus particulièrement au niveau des zones humides. C'est le cas par exemple autour de Gap (05) avec des espèces comme *Carex hordeistichos* et *C. buxbaumii* présentes dans quelques bas-marais à Laïches.

Inversement, l'existence de fortes localisations d'espèces végétales protégées a pu servir de fil conducteur à la caractérisation de ZNIEFF. Cette position est naturellement justifiée par la présence d'espèces souvent très exigeantes écologiquement, ou phylétiquement très anciennes (flore des falaises et éboulis), ou en limite d'aire (zone littorale), dans des milieux eux-mêmes extrêmement riches au plan biologique et de grande valeur patrimoniale.

Par exemple, la protection par une ZNIEFF, des zones à Pin mugho des Monts Urno, Agnellino et Carsene (06) a permis aussi la conservation d'autres espèces protégées présentes dans le territoire potentiel des Pinèdes : *Daphne striata*, *Eryngium spina-alba*, *Hedysarum boutygnanum*, *Campanula allionei* et *C. stenocaudon*, *Carex firma*, *Asplenium fissum* mais aussi d'autres espèces rares de la flore française : *Chamaeorchis alpina*, *Pedicularis allionei*, *Gentiana schleizeri*, *Carex mucronata*, etc.

Autre exemple, la ZNIEFF de Ceuse (05) îlot de nunatak épargné par les glaciations entre Buech et Durance est un conservatoire pour diverses espèces végétales protégées dont : *Geum heterocarpum* dans sa seule station française au niveau de balms ombragées. Les pelouses sommitales renferment en abondance *Eryngium spina-alba* et, la Hêtraie-Sapinière, *Cypripedium calceolus* et *Asperula taurina* aux côtés de plantes méditerranéennes rares ou endémiques comme *Genista radiata* et *Cytisus sauzeanus*.

## V - NIVEAUX D'ORGANISATION DU ZONAGE

Par rapport aux directives nationales d'établir des zones de type 1 et 2, des difficultés sont rapidement apparues. Celles-ci viennent du fait que l'approche par milieu implique des différences importantes dans l'organisation verticale et horizontale des écosystèmes très hétérogènes et dans leur répartition altitudinale.

Les différences tiennent aussi aux espèces végétales elles-mêmes suivant leur localisation, leurs modes de régénération et leurs stratégies de colonisation. Des différences, enfin, résultent des mécanismes de compétition par exploitation ou par interférence comme c'est le cas de la plupart des espèces végétales forestières qui dépendent d'écosystèmes à architecture hétérogène (BARBERO, BONIN, LOISEL, MIGLIORETTI et QUEZEL, 1987) et à structures horizontales marquées par de fortes hétérogénéités (SHUGART, 1984). Il en est de même pour les communautés d'invertébrés en situation de dépendance et pour lesquelles l'approche doit se faire à très grande échelle. Il est bien connu, par ailleurs, que pour les petites espèces animales l'association végétale recouvre divers niveaux d'hétérogénéité (BARBERO et al., 1988 ; GUEGUEN et al., 1977-1980).

Il en est ainsi également de la faune épigée de coléoptères à l'égard de certains arbres forestiers (Charme et Chêne liège de l'Estérel).

Dans d'autres cas, c'est le maintien de la diversité et de l'hétérogénéité des pelouses par les activités humaines en montagne qui assure la sauvegarde des plus belles espèces de papillons de nos Alpes. Tel est le cas dans le Queyras (ZNIEFF, 05) pour les prairies de fauche, les pré-bois de mélèzes et les pelouses subalpines asylvatiques parcourues qui abritent l'Apollon, l'Isabelle et l'Alexanor. L'embroussaillage rapide dans certains secteurs par suite de déprise fait fortement régresser les populations de ces espèces protégées.

Dans de nombreux cas, c'est l'hétérogénéité paysagère, sans qu'elle soit pour autant sous-tendue par la présence d'espèces végétales rares, qui est capitale dans l'organisation de territoires plus ou moins étendus pour la grande faune : territoires de chasse et aire de reproduction de rapaces, parcours pour chamois et bouquetins et aires d'hivernage.

Un exemple remarquable de ces ZNIEFF en forêts hétérogènes et étendues est fourni par les massifs forestiers de Boscodon et du bois du Morgon (05) qui abritent le Pic noir, la Chouette de Tengmaln et le Tétràs Lyre.

L'organisation à l'échelle d'une région de grandes unités de végétation hétérogènes de mêmes niveaux (forêts, fruticées, pelouses) entrecoupées elles-mêmes d'écocomplexes d'autres niveaux (systèmes bocagers par exemple) est une structuration indispensable pour le maintien de la grande faune.

Parmi les zones écologiques interactives il faut mentionner aussi toutes les structures des milieux humides : ripisilves et corridors, systèmes de bras morts, marécages-prairies alluviales et isolées dont les fonctions sont le gagnage et l'hivernage, entre autres pour les populations aviennes. Ces structures ont déjà, en région PACA, payé un lourd tribut aux aménagements en Durance, Verdon, Var et sur le Rhône.

Enfin, il convient de mentionner dans ce groupe d'espaces hétérogènes fonctionnels de zones humides, les grands marais de Crau et de Camargue où certaines opérations de drainage ont fait disparaître localement et en quelques saisons l'hétérogénéité des zonations en favorisant le développement d'espèces expansionnistes très prolifiques : *Phragmites*, *Juncus* et *Typha*.

Le cas le plus spectaculaire est celui du Marais de Raphèle où les incidences du drainage ont été catastrophiques pour des plantes en situation écologique particulière pour la région méditerranéenne telles que *Gentiana pneumonanthe* et *Parnassia palustris* ainsi que pour des espèces protégées comme *Ranunculus ophioglossifolius* et *R. lingua*, *Liparis loeselii*, *Gratiola officinalis*, etc.

D'autres exemples de ces relations interactives peuvent être mis en avant pour les pelouses à Hydrothérophytes des Maures et de l'Estérel menacées par les conséquences des débroussaillages qui facilitent l'érosion de versant lors des pluies d'automne et un transport de matériaux fins qui viennent colmater les microréseaux hydrographiques et les mares où vivent ces espèces très exigeantes de l'Isoétion.

## VI - HIERARCHIE DES ZNIEFF ET INTERACTIONS ECOLOGIQUES

Les quelques exemples qui viennent d'être évoqués attestent que c'est plus sous les angles fonctionnels et dynamiques que descriptifs et statiques qu'il fallait envisager le concept de ZNIEFF.

Ce bilan, au niveau des 544 ZNIEFF PACA montre que celles-ci pourraient être classées en deux grands groupes : des ZNIEFF sectorielles et des ZNIEFF microrégionales. Le concept de microrégion s'entend au sens de LEFEUVRE et BARNAUD (1988) c'est-à-dire d'écoComplexe.

Les aspects fonctionnels doivent être en effet privilégiés dans la discussion que les experts scientifiques doivent avoir avec les administrations. C'est en effet le seul moyen de préserver ces entités biologiques, d'où la nécessité de hiérarchiser les niveaux de protection notamment à l'occasion de l'élaboration des POS où toutes les ZNIEFF ne doivent pas forcément être classées en zone ND. En effet, beaucoup d'entre-elles doivent garder la relation avec les multi-usages ruraux et conserver un statut de zone NC qui seul est de nature à maintenir, par l'usage agricole ou pastoral du sol, la pérennité du fonctionnement biologique.

## VI.1 - ZNIEFF sectorielles

Elles délimitent un territoire très hétérogène à l'échelle géographique, géobotanique et faunistique à l'intérieur duquel les assemblages et combinaisons sont nombreux. Il peut s'agir d'ensembles d'éco-complexes en interactions entre eux ou sans interactions apparentes.

L'hétérogénéité de ces ZNIEFF qui cumulent des valeurs écologiques floristiques et faunistiques est souvent conditionnée par un déterminisme altitudino-spatial ou géopédologique. Leur justification principale en terme de zonage a été l'intérêt patrimonial.

## VI.1.1 - Déterminisme altitudino-spatial

Le facteur altitudinal régle les successions d'étage et détermine une bonne part de l'hétérogénéité de certaines ZNIEFF. Cette hétérogénéité de premier ordre est amplifiée par l'hétérogénéité des stades de la succession des séries de végétation, de tous les écotones qui les caractérisent dans les situations de transition ainsi que des modes et pratiques dans l'occupation des terres par l'homme.

Ces ZNIEFF de large amplitude altitudinale (Ventoux (84) ; Charance - Pic de Bure - Aurousse (05), par exemple) sont d'une très grande richesse avec des milieux spécialisés (rochers, éboulis contenant plusieurs espèces rares souvent protégées) et des milieux dont les hétérogénéités sont telles qu'un zonage extrêmement minutieux devrait en être effectué pour rendre compte de toute la diversité écopaysagère, floristique et faunistique.

Les problèmes d'échelle, de niveaux d'organisation et de transferts devraient être entièrement précisés pour ces ZNIEFF dont la cohérence principale tient à leur richesse biologique.

## VI.1.2 - Déterminisme édaphique (géopédologique)

Ce type de ZNIEFF soumis au climat méditerranéen tire son originalité du substrat et des catena de sols qu'il organise. Ces particularités (acidité, richesse hydrique) assurent une hétérogénéité territoriale aux structures de végétation de la zone qui se différencient par rapport à celles qui dominent généralement dans la région en question.

Tel est le cas pour la ZNIEFF d'Apt - La Garde d'Apt sur ocre, grès et calcaires à chailles où la végétation diffère fondamentalement de celle des chênaies pubescentes à buis, et où les espèces principales sont celles de landes et des unités acidophiles auxquelles elles appartiennent.

SCHEMA GEOPEDOLOGIQUE DE LA ZNIEFF DE LA GARDE D'APT  
ET SES UNITES DE VEGETATION

Haut de pente	Sable à <i>Corynephorus canescens</i> <i>Jasione montana</i> <i>Scleranthus perennis</i>	Pinède sèche à <i>Sarothamnus scoparius</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Genista pilosa</i> var. <i>microphylla</i> <i>Cistus laurifolius</i> (localement)	Pinède de <i>Pinus silvestris</i> <i>Quercus streimii</i>
Bas de pente	Pelouse à <i>Molinia coerulea</i> <i>Serratula lycopifolia</i>	Lande humide à <i>Sarothamnus scoparius</i> <i>Cornus sanguinea</i>	Près-bois à <i>Populus tremula</i> <i>Cerasus avium</i> <i>Fraxinus excelsior</i> Châtaigneraies
Bas fond	Marécage à <i>Scirpus</i> , <i>Juncus</i> , <i>Cyperus longus</i> <i>Carex</i>	Lande méso-hygrophile <i>Sarothamnus scoparius</i> <i>Sambucus ebulus</i>	Près-bois à <i>Populus tremula</i> <i>Populus nigra</i> <i>Salix incana</i>
Groupement forestier potentiel		Chênaies à <i>Quercus streimii</i> <i>Quercus pubescens</i>	

TABLEAU 3

Il s'agit là d'une ZNIEFF de grand intérêt à l'échelle régionale alors que cette situation est fréquente partout ailleurs en France. Mais, compte tenu de sa délimitation restreinte en surface, cette zone peut être assimilée à une île biogéographique dont les différents éléments sont en situation interactive (hétérogénéité spatiale instantanée sensu LEFÈUVRE et BARNAUD, 1988).

### VI.1.3 - Périmètres d'intérêt biologique

Les ZNIEFF sectorielles réunissent aussi les périmètres d'intérêt biologique (référencées sous la lettre "P" à l'inventaire PACA). Ces derniers sont considérés comme des unités ou secteurs dont l'intégrité territoriale doit être globalement préservée pour assurer la conservation des grands mammifères, des grands rapaces, des populations de gibiers nobles (Tétras lyre, etc.). Ces larges zones constituent pour les animaux concernés des territoires de chasse, des lieux de reproduction, des lieux d'hivernage. Pour les territoires de chasse, en particulier, les caractéristiques d'hétérogénéité et de diversité spatiales sont fondamentales.

### VI.2 - ZNIEFF microrégionales

Elles correspondent en terme d'écologie du paysage à des écocomplexes (BLANDIN et LAMOTTE, 1988) dont le concept évoque la nature écologique (spatiale, temporelle et relationnelle) des assemblages d'écosystèmes qui représentent à l'échelle des territoires un niveau d'intégration supérieur (LEFEUVRE et BARNAUD, 1988). Ces ZNIEFF s'organisent autour de leurs grands niveaux désormais classiques d'hétérogénéité.

#### VI.2.1 - ZNIEFF d'hétérogénéité spatiale intrasystème

Il s'agit de parcelles cultivées des agrosystèmes façonnées par l'homme, par ses pratiques culturales (travail du sol, profondeur d'ensemencement, nature des semences ou des arbres cultivés, intensité d'utilisation des engrais et pesticides) et pastorales aussi.

Malgré l'apparente homogénéité des parcelles et des pratiques, une très grande hétérogénéité intraparcellaire, interparcellaire, voire interannuelle, caractérise ces types. Les pratiques agraires et pastorales peuvent être assimilées à des perturbations, à l'origine de niches de régénération des espèces, très diversifiées.

C'est le cas par exemple des cultures céréalières de la ZNIEFF de Manne (04) où l'on rencontre quasiment toutes les années des espèces messicoles très rares comme *Adonis flammea*, *A. aestivalis* et *A. autumnalis*, *Delphinium pubescens*, *Cnicus benedictus* et, suivant les années, *Conringia orientalis*, *Vaccaria pyramidata*, *Ceratocephalus falcatus*. Les mêmes parcelles peuvent être, certaines années, dominées par *Papaver rhoeas*, les années suivantes par *Centaurea cyanus* au gré de la colonisation par exploitation.

Ces ensembles sont menacés par les cultures légumières (melons) ou par la maïsiculture d'irrigation. A l'inverse, les cultures cynégétiques constituent souvent, dans la région, des espaces, où ces espèces messicoles protégées apparaissent par place. C'est le cas dans le Haut Var (83), sur Valensole (04) avec *Androsace maxima*, *Nigella gallica*, *Delphinium verdureense*, et au Ventoux avec *Legousia castellana*.

A ce groupe, il faut rattacher également plusieurs ensembles de pelouses méditerranéennes maintenues dans leur état d'hétérogénéité intrasystème par l'action du troupeau qui bloque la dynamique progressive de la végétation par embroussaillage.

L'exemple le plus évocateur en région PACA est celui de la ZNIEFF de Caussols et de la Faye riche de 4 espèces protégées : *Cytisus ardoini*, *Fritillaria orientalis*, *Erodium rodiei*, *Orchis fragrans* et de plantes endémiques ou rares : *Leucanthemum burnati*, *Alsine burnati*, *Astragalus vesicarius*.

La menace sur ces milieux tient principalement à l'installation d'espèces expansionnistes arbustives comme *Genista cinerea* ou chamaephytiques comme *Dorycnium suffruticosum*, *Lavandula vera*, *Euphorbia spinosa*.

#### VI.2.2 - ZNIEFF d'hétérogénéité spatiale intersystèmes

##### VI.2.2.1 - ZNIEFF d'échanges

Il s'agit d'ensembles humanisés où l'hétérogénéité spatiale des structures est maintenue par les activités humaines. L'étude de la distribution spatio-temporelle des espèces animales et végétales dans l'écocomplexe varie au sein de chacun des éléments ou écosystème constituant le système global. Chaque élément échange avec un ou plusieurs autres (BLANDIN et LAMOTTE, 1988).

A ce type de ZNIEFF on peut rattacher le bocage du Champsaur (05) constitué de haies de Frêne ou de Chêne sessile se comportant comme des pièges verticaux (LEFEUVRE et BARNAUD, 1988) où la diversité spécifique en invertébrés est très élevée (coléoptères, diptères, orthoptères) mais aussi en micromammifères. Ces corridors, constitués par des haies, (BUREL, 1987 ; BAUDRY et MERRIAM, 1987) sont en liaison directe avec les parcelles cultivées ou fauchées de l'agrosystème. Il y a là un écocomplexe de grande richesse trophique et de grandes hétérogénéités architecturales facilitant l'individualisation de plusieurs systèmes de populations-environnement (BARBAULT, 1981).

Tel est le cas en particulier pour les oiseaux. La ZNIEFF du bocage champsaurien compte 71 espèces d'oiseaux nicheurs. Les oiseaux les plus remarquables sont le Bruant jaune, la Buse, l'Épervier, le Pic vert, le Pic épeichette. En outre, ces milieux sont très riches en chiroptères : Grand murin, Oreillard roux, Oreillard gris, Grand et Petit Rhinolophe, Serotine commune, Pipistrelle commune.

Pour ces milieux, l'action de l'homme a joué et joue un rôle considérable dans la structuration et l'organisation du territoire à l'échelle microrégionale et donc dans les échanges. Mais, ce bocage de Champsaur est fortement menacé par des opérations de remembrement et de destruction des haies.

A ce type de ZNIEFF il convient de rapporter, mais à une autre échelle, les ensembles paysagers fortement urbanisés de l'étage thermoméditerranéen des Alpes maritimes appartenant à la série du Caroubier (ZNIEFF d'Eze-Villefranche). Il s'agit de paysages préforestiers et forestiers rélictuels fragmentés, de garrigues morcelées et de pelouses naturelles réduites entrecoupées par un bâti important et dominant. Ces ensembles sont de véritables infrastructures écologiques (VAN SELM, 1987).

Ce sont des taches naturelles ou îles qui constituent autant d'habitats rélictuels pour la flore et probablement pour la faune.

Chacun des ensembles physiologiques est lui-même très hétérogène dans sa structuration et sa composition avec des distributions très inégales en densité des populations d'espèces menacées où se posent de réels problèmes de conservation et où la pression du bâti est très forte.

Pelouse à	Garrigue à	Stade préforestier
<i>Leucium hiemale</i>	<i>Euphorbia dendroides</i>	<i>Ceratonia siliqua</i>
<i>Stipa capensis</i>	<i>Teucrium fruticans</i>	<i>Cneorum tricoccum</i>
<i>Atractylis cancellata</i>		

#### VI.2.2.2 - ZNIEFF de transfert

Il s'agit d'ensembles fort menacés en PACA et plus particulièrement liés à la dynamique de l'eau.

Si les secteurs fluviaux sont classiquement considérés comme des systèmes longitudinaux assurant les transferts unidirectionnels d'eau, de matière et d'énergie du bassin versant (VANNOTTE et al., 1980) ils sont aussi selon DECAMPS et NAIMAN (1988) des systèmes formés par la plaine inondable avec des milieux aquatiques, semi-aquatiques et terrestres.

Le fleuve est ainsi une succession de secteurs fonctionnels (AMOROS, 1987) et interdépendants (AMOROS, BRAVARD, REYGROBELLET, PAUTOU et ROUX, 1988) d'intérêts écologique, floristique, faunistique divers pouvant justifier localement la mise en place de ZNIEFF.

Plusieurs ont été retenues en PACA. L'une des plus remarquables est le confluent Luye - Durance (05) tant au plan de la diversité des associations végétales que des peuplements aviens.

Ces particularités relatives aux toposéquences sont très nettes :

- alluvions grossières : Iscles à *Hypophae rhamnoides* ;
- alluvions fines : fourrés à *Myricaria germanica* ;
- marécages d'eaux stagnantes à *Najas minor*, *Potamogeton pectinatus*, *P. obtusifolius*, *P. densus*, *P. perfoliatus* et *P. lucens* ; ceintures à *Cladium mariscus*, *Carex rostrata*, *C. leporina* et *C. pendula*, Typhaies et Phragmitaies ;
- ruisseaux d'eau courante à *Helosciadium nodiflorum*, *Ranunculus aquatilis* ;
- pelouses marécageuses mésophiles à *Molinia coerulea*, *Arrhenatherum elatius*, *Gagea arvensis*, *Serratula lycopifolia*.

La chronoséquence est bien marquée et identifiable par les groupements semi-forestiers et forestiers :

- saussaies à *Salix cinerea*, *S. triandra* et *S. fragilis* ;
- aulnaies à *Alnus incana*, *Salix incana* ;
- aulnaies-populaies à *Populus nigra*, *Salix alba* ;
- ornaie-frênaie à *Fraxinus excelsior* et *Ulmus campestris* ;
- frênaie-chênaie à *Rosa gallica*, *Orchis fragrans* (espèces protégées).

Les secteurs d'anciens chenaux, méandres, tressages, favorisent donc autant d'unités fonctionnelles organisées en toposéquences et chronoséquences.

Cette hétérogénéité explique, pour une large part, la très grande diversité de l'avifaune :

- espèces aquatiques : Canard colvert, Râle d'eau, Poule d'eau, Rousserole turdoïdes, R. effarvate et R. verderole ;
- espèces migratrices : Héron pourpré, Marouette ponctuée, Aigrette, etc. ;
- nombreux passereaux dont Lorient et Bourscarle.

## VII - ZNIEFF ET AMENAGEMENTS

Au-delà d'une approche qui se voulait interdisciplinaire un des objectifs des ZNIEFF a été d'alerter les politiques, les décideurs et les aménageurs sur les parties du territoire national biologiquement sensibles, de grande valeur patrimoniale.

En région PACA les situations sont très contrastées. Il faut distinguer des zones soumises à de très fortes pressions d'aménagement (zones littorales et juxtalittorales et certains secteurs de haute et moyenne montagne) et aussi des zones où la dépopulation très forte, en raison d'une déprise rurale déjà ancienne, va en s'accroissant.

Sur le littoral la situation est actuellement catastrophique non seulement en terme d'extension du bâti mais encore de fréquentation (dunes, plages, tombolos) où les conséquences des phénomènes de piétinement prennent des allures inquiétantes.

La loi de transfert des compétences a encore aggravé les risques. Pratiquement, toutes les communes délibèrent sur des modifications ou des révisions des documents d'urbanisme (P.O.S.) en transformant des zones naturelles (ND) en zones urbanisables (U).

Pire, la loi du littoral (3 janvier 1986) n'est pas respectée et en particulier la règle d'inconstructibilité sur une bande de 100 m en bordure du littoral. En transformant les P.O.S. dans le sens indiqué plus haut, les Maires détournent la loi, alors que la directive d'aménagement du littoral d'août 1979, plus restrictive, précisait que la bande d'inconstructibilité s'appliquait en dehors des zones actuellement urbanisées. Elle limitait donc les possibilités de détournement de procédure.

Il est urgent, qu'à ce niveau, les pouvoirs publics comblent rapidement ce vide juridique car de très nombreuses ZNIEFF risquent de disparaître. Ce choix volontaire des scientifiques de PACA d'avoir inclus un maximum d'espèces protégées au sein de périmètres délimités n'empêche pas le laxisme des pouvoirs publics, détenteurs pourtant des documents scientifiques établis dans le contrôle de légalité des permis de construire.

Il serait urgent qu'au moins les commissions départementales des sites soient consultées lorsque des projets d'aménagements concernent des ZNIEFF et lorsque, a fortiori, celles-ci contiennent des espèces protégées. Le fera-t-on ?

Si l'on ne prend pas les mesures d'urgence qui s'imposent les espèces végétales ci-après sont menacées de disparition sur le littoral méditerranéen : *Anthyllis barbajovis*, *Atractylis cancellata*, *Helianthemum marifolium*, *Heteropogon contortus*, *Helianthemum lavandulaefolium*, *Limonium minutum*, *L. girardianum* et *L. ramosissimum* subsp. *provinciale*, *Linaria commutata* et *L. reflexa*, *Loeflingia hispanica*, *Matthiola tricuspidata*, *Silene velutina*, *Tamarix gallica*, *Teucrium fruticans*, *Thymelaea tartonraira*, *Urginea maritima*, *Vicia elegantissima*, *Viola arborescens*, *Allium chamaemoly*, *Ampelodesmos mauretanicus*, *Merindera filifolia*, *Ophrys bombylifera*, *Orchis saccata*, *Periballia minuta*, *Vitex agnus-castus*.

En zone juxtalittorale la situation n'en est pas moins préoccupante et nous avons déjà signalé les conséquences de l'érosion de versants due aux travaux de D.F.C.I. et aux incendies qui, par apport d'éléments fins dans les bas-fonds, colmatent les zones à très rares hydrophytes de l'isoétion.

Enfin, sur l'ensemble de la région, comme sur le territoire national, on ne saurait trop insister sur les incidences du drainage qui entraîne une banalisation des zones humides. Nous avons, à cet égard, indiqué les menaces qui pèsent sur diverses espèces protégées en Crau.

Dans un autre ordre d'idée il convient aussi de mettre en lumière les travaux de remembrement qui contribuent à réduire les systèmes de discontinuités (haies, corridors, etc.) et à détruire la plupart des ZNIEFF d'échanges (bocage du Champsaur, réseaux vignobles-haies-garrigues, etc.).

## VIII - ZNIEFF ET DEPRISE

La déprise rurale qui a pour conséquence le non-usage des milieux ruraux a des effets dramatiques sur de très nombreuses ZNIEFF.

La diminution du parcours en de très nombreux secteurs des préalpes et aussi dans la ZNIEFF de Crau où l'embroussaillage du Coussous et donc des formations présteppiques à *Stipa capillata* et *Asphodelus fistulosus* aura inévitablement à terme des effets dépressifs sur les populations de Ganga cata, d'Oedicnème criard et d'Outarde canepetière.

Cette même diminution du parcours dans les Préalpes de Grasse notamment sur la ZNIEFF d'Andon-Bleine entraîne de fortes invasions des pelouses par le genêt cendré et de très sensibles régressions des populations de Pivoines (*Paeonia officinalis* espèce protégée). Dans les Maures, l'inertien pastoral de la châtaigneraie menace les dernières stations de *Vicia barbajovae*, espèce également protégée.

Cette diminution de la pression pastorale qui a affecté d'abord les écosystèmes prairiaux préalpins a favorisé indiscutablement depuis le début du siècle les conifères expansionnistes (QUEZEL et BARBERO, 1988). Le Pin sylvestre est passé de 73.432 ha en 1904 à 250.710 ha en 1988 ce qui menace sérieusement la diversité floristique et faunistique des ZNIEFF préalpines à dominantes de pelouses.

Les forêts parcourues sont elles-mêmes sujettes à de profondes modifications. On peut citer par exemple le prébois de Mélèze, écosystème pastoral ancestral, très riche pour sa faune de Lépidoptères, d'Orthoptères, son avifaune et aussi sa faune de grands ongulés, où la substitution locale du Mélèze par le Sapin et l'Épicéa modifie fondamentalement le paysage, la flore et la faune dans certaines microvallées des Alpes Maritimes.

De même, la déprise ancienne en P.A.C.A. a laissé des traces apparentes de ces effets.

L'inculture a eu des conséquences dramatiques dans les Olivettes du Pays grassois. Ces dernières, localisées sur terrasses et régulièrement cultivées jusque dans les années 60, sans moyen aratoire sophistiqué, présentaient de très nombreuses espèces bulbeuses et à griffes protégées et aujourd'hui fortement menacées : *Tulipa praecox*, *T. silvestris* et *T. gesneriana*, diverses races d'*Anemone coronaria*, *A. silvestris* et *A. hortensis*.

L'inculture de ces olivettes a eu des conséquences sur la flore des systèmes hétérogènes que constituaient les banquettes : diminution des populations de *Ranunculus millefoliatus* dans les Olivettes de Solliès Toucas (83), d'*Anemone palmata* dans celles du Luc (83) et de *Ranunculus canuti* dans celles de Sospel (06).

En contrepartie l'enrésinement a fortement progressé avec l'invasion des banquettes par le Pin d'Alep. Celui-ci est passé de 124.551 ha en 1904 à 199.653 en 1988 et ce, malgré les incendies qui ravagent prioritairement les Pinèdes (BARBERO et QUEZEL, 1989).

La non gestion pose donc le problème du devenir des structures hétérogènes traditionnelles de végétation.

A cet égard les quelques études phytoécologiques diachroniques dont nous disposons montrent bien que les scénarios dynamiques décrits par l'analyse synchronique ne sont souvent pas les scénarios réels.

Les effets de la non gestion ont pu, mais très exceptionnellement, favoriser certaines espèces rares. C'est le cas plus particulièrement dans les écosystèmes forestiers :

- installation, dans de nombreux mélézéens anciennement parcourus, de *Listera cordata* ;
- développement dans certains mélézéens non exploités par l'ONF dans le Boréon et fortement infiltrés d'Épicéa, de *Lycopodium clavatum*, *L. selago* et *L. annotinum*, *Cystopteris montana* ;
- extension de *Carex grioletii*, *Ruscus hypoglossum*, *Pteris cretica* dans une Yeuseraie de la Basse Roya (BARBERO et LOISEL, 1983) non exploitée depuis 40 ans.

Les ZNIEFF sont donc appelées à évoluer ce qui veut dire en clair que des hétérogénéités différentes se mettront en place. Mais, la dépopulation des milieux naturels de l'espace rural aura plus de conséquences négatives que positives en terme de diversité spatio-temporelle et en terme de coût de la lutte contre les perturbations (avalanches, inondations, incendies).

Doit-on considérer dès lors que les perturbations amplifiées comme les feux sauvages vont être l'occasion de l'expression de nouvelles hétérogénéités en déclenchant de nouveaux types de successions et en opérant de nouveaux tris parmi le pool biologique adapté ? On peut être effrayé par un tel scénario qui ne pourra qu'entraîner des redistributions différentes dans les dynamiques des paysages et une recombinaison de leurs structures (BARBERO, BONIN, LOISEL et QUEZEL, 1989) accompagnés d'une cascade de disparitions ou de raréfactions prévisibles d'espèces végétales et animales. Dès lors, quels types de prévention, quels types de gestion et quels types de modèles de manipulation des écosystèmes doit-on proposer ?

## IX - CONCLUSIONS

Les ZNIEFF représentent des éléments de l'hétérogénéité spatio-temporelle de secteurs territoriaux de forte valeur patrimoniale, ou des écosystèmes originaux où jouent, comme patrons de la diversité biologique, les fonctions d'échanges et de transferts.

Ce sont des structures spatiales, horizontales et verticales, en perpétuelle mutation sous l'effet des processus de compétition interspécifiques et aussi sous l'effet majeur et quelquefois déterminant des usages par l'homme.

Cette dynamique et cette évolution continues des écopaysages peut avoir pour conséquence, sur des pas de temps significatifs, la modification complète du contenu biologique des ZNIEFF. Seuls, quelques milieux spécialisés peuvent être plus facilement considérés comme épargnés par ces processus dynamiques : rochers, éboulis, sols salés, etc.

Les modifications d'usages se révèlent être de redoutables mécanismes qui, à terme, peuvent menacer plusieurs écosystèmes dans leur structure et leur fonctionnement.

De telles tendances posent de nouvelles interrogations et doivent inciter à une réflexion qui sera de plus en plus d'actualité : quels savoir-faire pour gérer la diversité biologique ?

## BIBLIOGRAPHIE

AMOROS C., 1987 - Evolution des écosystèmes aquatiques abandonnés par les fleuves. Recherches méthodologiques appliquées à la gestion écologique des systèmes fluviaux. Thèse Univ. Claude Bernard, Lyon I : 440 p.

AMOROS C., BRAVARD J.P., REYGROBELLET J.L., PAUTOU G. et ROUX A.L., 1988 - Les concepts d'hydrosystème et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des écosystèmes. Bull. Ecol., 19, 4 : 531-546.

BARBAULT R., 1981 - Ecologie des populations et des peuplements. Masson Edit., Paris : 200 p.

BARBERO M. et LOISEL R., 1983 - Les chênaies vertes du Sud-Ouest de la France méditerranéenne : valeurs phytosociologiques, dynamiques et potentielles. Phytocoenologia, 11, 2 : 225-244.

BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., MIGLIORETTI F. et QUEZEL P., 1988 - Impact of forest fires on structures and architectures of mediterranean ecosystems. Ecologia mediterranea, XIII : 26-39.

BARBERO M. et QUEZEL P., 1989 - Structures, architectures forestières à sclérophylles et prévention des incendies. Bull. d'Ecologie, 20, 1, sous presse.

BARBERO M., BONIN G., LOISEL R. et QUEZEL P., 1989 - Changes and disturbances in forest ecosystems caused by human activity in the Western Mediterranean Basin. Human Induced Changes in Forests. Colloque Uppsala, août 1989.

BARNAUD G., CANARD A., GEORGES A. et RICHARD L., 1980 - Données actuelles sur les invertébrés des landes armoricaines : aspect global. Bull. d'Ecologie, 11 : 433-455.

BAUDRY J. et MERRIAM M.G., 1987 - Connectivity and connectedness : fonctionnel versus structural pattern in landscapes. In : Connectivity in landscape ecology. Summaries of the second international seminar of the International Association for Landscape Ecology (IALE). Munster, R.F.A., 19-24 juillet 1987.

BEAUFORT (de) F. et MAURIN H., 1988 - Le Secrétariat de la Faune et de la Flore et l'inventaire du patrimoine national : objectifs, méthodes et fonctionnement. S.F.F. éd., Paris : 119 p.

BEAUFORT (de) F. et MAURIN H., 1988 - Le Secrétariat de la Faune et de la Flore et l'inventaire du patrimoine naturel : programmes d'inventaires, réseau Faune-Flore et publications. S.F.F. éd., Paris : 241 p.

BLANDIN P. et LAMOTTE M., 1988 - Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'Écosystème. Bull. d'Ecologie, 19, 4 : 532-547.

BRANDT J. et AGGER P. (eds.), 1984 - Methodology in landscape ecological research and planning. Proceeding of the first international seminar of the International Association of Landscape Ecology (IALE). Roskilde Denmark, Universitets forlag Geo Ruc ed., vol. 1 : 118 p. ; vol. 2 : 150 p. ; vol. 3 : 153 p. ; vol. 4 : 171 p. ; vol. 5 : 235 p.

BUREL F., 1987 - Biological patterns and structural patterns in agricultural landscapes. In : Connectivity in landscape ecology. Summaries of the Second International Association of Landscape Ecology (IALE). Munster, R.F.A., 19-24 juillet 1987.

DECAMPS H. et NAIMAN R.J., 1988 - Pourquoi une écologie des paysages fluviaux. Bull. d'Ecologie (sous presse).

DEFFONTAINES J.P., 1982 - Activité agricole, espace et paysage : analyse fondée sur le fonctionnement de l'activité agricole au niveau de l'exploitation, In : Activités agricoles : espace, parcelle et paysage. INRAP, 29 : 3-24.

- FORMAN R.T.T. et GODRON M., 1986 - Landscape Ecology. Wiley et Sons Ed, New York : 619 p.
- FORMAN R.T.T., 1987 - Patch shape : a key ecological controller in the landscape. In : Connectivity in landscape ecology. Association for Landscape Ecology (IALE). Munster, R.F.A., 19-24 juillet 1987.
- FROCHOT B., 1987 - Etude quantitative de l'effet de lisière sur les populations d'oiseaux : définitions et principes méthodologiques, In : Biologie et gestion des populations oiseaux. Rev. Terre et la Vie, Suppl. 4 : 7-15.
- GUEGUEN A., FORGEARD F. et LEFEUVRE J.C., 1977 - Répartition d'un peuplement orthoptérologique en fonction des unités de végétation dans une séquence de lande. Botanica Rhedonica, 15 : 19-27.
- GUEGUEN A., LEFEUVRE J.C., FORGEARD F. et TOUFFET J., 1980 - Analyse comparée de la dynamique de la restauration du peuplement d'orthoptère et du peuplement végétal dans une zone de brûlée de lande. Bull. d'Ecologie, 11 : 747-764.
- LEFEUVRE J.C. et BARNAUD G., 1988 - Ecologie du paysage : mythe ou réalité ? Bull. d'Ecologie, 19, 4 : 493-522.
- LONG G., 1974 - Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. 2 tomes, Masson Ed. Paris.
- LONG G., 1985 - Phytoécologie et aménagement rural, p. 57-97, In M. Lamotte, Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire. Masson Ed., Paris : 175 p.
- QUEZEL P. et BARBERO M., 1988 - Les forêts méditerranéennes. Problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta Ecologica Malacitana, sous presse.
- SHUGART H.H., 1984 - A theory of forest dynamics. Springer Verlag, Berlin : 238 p.
- TJALKINGII S.P. et de VEER A.A., (eds), 1982 - Perspectives in landscape ecology. Proceeding of the International Congress, 6-11 avril 1982. The Netherlands Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen Ed. : 344 p.
- VANNOTE R., MINSHALL G.W., GUMKMINNS K.W., SEDELL J.R. et CUSHING C.E., 1980 - The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sc., 37 : 130-137.
- VAN SELM A. J., 1987 - Ecological infrastructure : a conceptual framework for designing habitat Net works. In : Connectivity in landscape ecology. Summaries of the Second International Seminar of the International Association for Landscape Ecology (IALE). Munster, R.F.A., 19-24 juillet 1987.

## Le polymorphisme alaire chez les Hémiptères aquatiques (Amphibicorisa):

son impact sur la prédation interspécifique et le cannibalisme intraspécifique

A. GHEIT\*  
P. AGUESSE\*

*RESUME* - Huit espèces d'Hémiptères aquatiques parmi les quarante trois espèces et sous-espèces recensées dans le Plateau Central marocain présentent un polymorphisme alaire, phénomène qui affecte surtout les Amphibicorises : Gerridae-Veliidae-Mesoveliidae-Hydrometridae ; l'insecte étant macroptère et/ou microptère et/ou brachyptère et/ou aptère. L'incapacité au vol pour certaines espèces se traduit au moment de l'assec par une prédation inter et intraspécifique, elle-même consécutive à la diminution des potentialités trophiques de leurs biotopes.

*SUMMARY* - Eight species, amid forty three species and sub-species of aquatic Hemipterous collected in the Moroccan Central table-land present different cases of polymorphism wing. This phenomenon affects especially the Amphibicorisa : Gerridae-Veliidae-Mesoveliidae-Hydrometridae ; the insect can be macropterous and/or brachypterous and/or micropterous and/or apterous. The incapacity to fly of some species explains when their biotops are drain the predation between these species and other species consequently to the diminution of their biotop's potentialities trophic.

*MOTS-CLES* : Hémiptères aquatiques - Polymorphisme alaire - Prédation.

### INTRODUCTION

Les Hémiptères aquatiques constituent une entité de choix pour l'étude du polymorphisme alaire et de son impact sur la prédation. En effet, ce groupe, composé en majorité de prédateurs et dont on connaît très peu le mécanisme de la migration et de l'essaimage des espèces, en particulier au moment de l'assèchement de leurs écosystèmes, a fait l'objet d'observations sur le terrain (GHEIT 1985 à 1988) du phénomène de prédation et de cannibalisme.

#### I - LE POLYMORPHISME ALAIRE CHEZ LES AMPHIBICORISES

En étudiant la structure des ailes d'un Hémiptère Amphibicorise, nous remarquons que les ailes postérieures quand elles existent, sont toujours membraneuses, les antérieures en partie chitinisées constituant les hémélytres. D'après POISSON (1957), ces dernières comprennent une zone plus ou moins large externe proximale appelée CORIUM et une autre interne plus étroite : le CLAVUS. A l'extrémité distale s'étend la MEMBRANE, plus ou moins développée, réduite ou nulle chez les formes brachyptères.

- Ainsi, chez les *Hydrometridae*, corium, clavus et membrane ne sont pas nettement séparés et sont de consistance homogène.
- Chez les *Mesoveliidae*, clavus et membrane sont membraneux, le corium étant sub-membraneux.
- Les *Veliidae* présentent des hémélytres homogènes sans distinction de corium, clavus, ni de membrane.

\*Laboratoire de Biologie Générale et de Zoologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Batouta, BP 1014, Agdal-Rabat, Maroc.

- De même chez les *Gerridae*, les hémélytres sont généralement opaques, de nature homogène et à fortes nervures longitudinales.

Le polymorphisme alaire affecte surtout les espèces dites "sus-aquatiques" ou "glisseurs de surface" qui, pour se déplacer en surface, utilisent le phénomène de la tension superficielle. L'apparition au sein des populations d'Amphibicorises de formes brachyptères, microptères et aptères qui intéresse les deux sexes est la résultante sans aucun doute possible de recombinaisons génétiques au cours des générations successives. C'est ainsi que POISSON (1940) a montré expérimentalement la nature héréditaire du polymorphisme alaire chez les *Gerridae* et, par des élevages au Laboratoire, mis en évidence certaines de ses modalités. Il a notamment montré que les facteurs température et nourriture n'interviennent pas sur le polymorphisme. Cet auteur signale que EKBLOM (1927 - 1928) (In POISSON, 1940) a montré que la nature des ailes est bien un caractère héréditaire. D'autres chercheurs, en particulier MITTS (1937) (In POISSON, 1940), distinguent chez *Gerris argentatus* Schummel 1832 deux générations dont les imagos diffèrent par le polymorphisme alaire : les individus de la première génération ( $F_1$ ) présentent un aptérisme complet, ceux de la deuxième génération ( $F_2$ ) sont normalement ailés. Selon cet auteur, les larves de printemps donneraient en juin - juillet naissance à des aptères lesquels seraient la souche des individus ailés de la génération hivernale. Cependant, MITTS suppose qu'à côté du facteur héréditaire interviendraient des facteurs nourriture et température.

## II - INVENTAIRE COMMENTÉ DES ESPÈCES AFFECTÉES PAR LE POLYMORPHISME ALAIRE

La faune hémiptérologique aquatique du Plateau Central marocain s'élève à quarante trois espèces et sous-espèces (GHEÏT, 1985) parmi lesquelles huit espèces Amphibicorises du supra-neuston sont affectées par le polymorphisme alaire.

- 2.1 - Famille des *Gerridae* Leach, 1807 ; Amyot et Serville, 1843 :  
 + Genre *Gerris* Fabricius, 1794  
 + Sous-genre *Aquarius* Schellenberg, 1800  
 . *Gerris najas cinereus* (Puton, 1889).

Il s'agit d'une espèce dimorphe. Dans le Plateau Central, on capture des individus aptères très nombreux formant des essaims et des individus macroptères rares, isolés.

- 2.2. - Famille des *Hydrometridae* Bilberg, 1820 :  
 + Genre *Hydrometra* Latreille, 1796  
 . *Hydrometra stagnorum* (Linné, 1758).

Très commune en Europe, en Asie et dans le bassin méditerranéen, l'espèce se cantonne dans les herbiers submergés en plaine comme en altitude. Dans le Plateau Central, les Hydromètres forment au printemps des populations denses composées d'individus macroptères et microptères.

- 2.3. - Famille des *Mesoveliidae* Douglas et Scott, 1887 :  
 + Genre *Mesovelia* Mulsant et Rey, 1852  
 . *Mesovelia vittigera* (Horvath, 1895).

Cette espèce, ainsi que la suivante, fréquente les eaux stagnantes et les cours d'eau à faible courant dans les endroits où abondent les plantes aquatiques à feuilles surnageantes. Au Plateau Central, dans les deux stations où se capture cette espèce, on récolte à

partir du mois de juin dans les flaques résiduelles des centaines d'individus à différents stades macroptères et aptères qui se donnent la chasse mutuellement.

. Mesovelia furcata (Mulsant et Rey, 1852)

Connue comme espèce paléarctique, cette dernière est récoltée en compagnie de l'espèce précédente mais en faible nombre. *Mesovelia furcata* est également dimorphe, mais tous les individus capturés au Plateau Central sont aptères. POISSON (1933) signale que la forme macroptère est rare, l'aptérisme étant le plus commun.

2.4. - Famille des Velidae Amyot et Serville-Dohrn, 1859 :

+ Genre Velia Latreille, 1804

. *Velia saulii* (Tamanini, 1947).

La population recensée dans le Plateau Central marocain est composée d'individus macroptères, les plus nombreux, et d'individus aptères, faiblement représentés car inaptes au vol et par conséquent à taux de mortalité élevé suite au phénomène de prédation inter et intraspécifique.

. Velia concii (Tamanini, 1947) :

Tous les individus capturés sont brachyptères (forme la plus commune au Maroc). Leur apparition au printemps s'accompagne curieusement d'une très forte colonisation du milieu.

+ Genre Rhagovelia Mayr, 1865 :

. *Rhagovelia nigricans* (Burmeister, 1835).

Il semble que cette espèce afro-tropicale n'existe que sous la forme aptère telle que nous l'avons recensée au Maroc Central. A notre connaissance, il n'existe pas d'autre(s) formes(s) décrite(s) dans ce genre.

+ Genre Microvelia Westwood, 1834 :

. *Microvelia pygmaea* (Dufour, 1883).

C'est une espèce dimorphe dont la forme macroptère est mieux représentée que la forme aptère dans les stations où on la capture. Le phénomène de mutilation alaire, dû au "brossage" énergétique des hémélytres qui supprime les parties délicates dont la membrane et une portion du corium, observé également chez *Mesovelia vittigera* (f. macroptère) se retrouve ici chez les vieux imagos de *Microvelia pygmaea*. Il semblerait a priori que toutes les petites espèces de 2 à 3 mm et macroptères soient sujettes à ce phénomène indicateur de la sénilité. Il est ainsi possible pour une population donnée de connaître le pourcentage de jeunes imagos et d'imagos âgés. Chez *Microvelia pygmaea* comme chez *Mesovelia vittigera*, les imagos "mutilés" deviennent plus nombreux à partir du mois de juin dans les flaques résiduelles de leurs stations respectives et ceci par suite de leur handicap au vol.

Quel est le devenir de ces espèces au moment de l'assec quand toutes les formes macroptères quittent les lieux où elles sont apparues pour migrer vers des stations permanentes ?

### III - PREDATION INTERSPECIFIQUE ET CANNIBALISME INTRASPECIFIQUE

Ce phénomène constitue une des caractéristiques essentielles des Hémiptères aquatiques. En effet, excepté les représentants de la famille des *Corixidae* Leach (1815), qui sont détritivores, toutes les espèces et sous-espèces entrant dans l'ordre des Hémiptères aquatiques élaborent une sécrétion venimeuse qui provoque après piqure une paralysie instantanée de la proie dont l'insecte se nourrit par succion.

La faune dite sus-aquatique est occasionnellement nécrophage : les *Gerris*, les *Velia*, les *Mesovelia* et les Hydromètres se nourrissent de cadavres "frais" d'invertébrés, ailés ou non, flottants sur l'eau ou en bordure des rives. Le nettoyage effectué par "ces fossoyeurs occasionnels" a pu être constaté dans les stations du Plateau Central marocain peuplées par les genres cités et cela dès la remise en eau suivie de la recolonisation de l'écosystème. Ainsi, nous avons observé des *Mesovelia vittigera* (macroptères et aptères) agglutinées en train de piquer un jeune lombric en bordure de rive. De même, nous avons remarqué qu'au printemps à la suite de la pullulation d'une espèce de pucerons (aptères et macroptères) de ronce sauvage (*Rubus fruticosus*) qui constitue de belles zones ombragées le long d'un cours d'eau, les Hydromètres, qui chassent à l'affût, se nourrissent de ces pucerons tombant au niveau des herbiers submergés ou sur des feuilles surnageantes. Nous avons également capturé des *Gerris* dans une daya (=mare) qui se nourrissaient de larves de Diptères nématocères (anophèles) et cela en pleine saison printanière (mois de mai, 1988). De telles observations ne surprennent pas quand on sait que la grande majorité des Hémiptères aquatiques sont de redoutables prédateurs. Mais, si dans ces cas-là, le réflexe prédateur intraspécifique s'explique comme étant acquis ou inné, celui de la prédation intraspécifique ou "cannibalisme", en particulier celui observé au moment de l'assec, est intéressant à analyser. En effet, d'après POISSON et al. (1957), il existerait chez toutes les formes macroptères, donc aptes au vol, un facteur biologique interne qui déclencherait la migration dès qu'il y a surpopulation au sein d'un écosystème et par suite réduction de l'espace vital. Le problème est différent pour les autres formes brachyptères-microptères et aptères car nous pensons que le facteur biologique en question doit agir de manière différente pour ces formes sédentaires, moins mobiles, condamnées à survivre jusqu'à l'accomplissement du cycle biologique. Ce facteur interne lié à l'instinct de conservation débouche finalement sur un cannibalisme intraspécifique par suite de l'absence d'autres potentialités trophiques du milieu et ceci d'autant plus que les femelles brachyptères, microptères et/ou aptères capturées au moment de l'assec sont en majorité bourrées d'œufs, ce qui laisserait supposer que la survie de ces femelles en eaux temporaires en vue d'une ponte éventuelle est liée au cannibalisme observé vis-à-vis des stades larvaires. Nous avons remarqué ce phénomène de cannibalisme chez un *Gerris* aptère (sous-genre *Aquarius*) : *Gerris najas cinereus* durant les mois de juillet - août - septembre dans les flaques résiduelles de cours d'eau temporaire et pérenne du Plateau Central marocain où il forme des essaims très denses.

### 3.1. - Cannibalisme intraspécifique au sein des populations de *Gerris najas cinereus* (Hémiptère - Gerridae) de cours d'eau temporaire et permanent (Tableau I)

Cette étude est basée sur l'analyse des densités larvaires et imaginaires de populations de *Gerris najas cinereus* établies sur quatre saisons, estivales (1985-1986-1987-1988), de juillet à fin septembre, soit trois mois cruciaux en pays maghrébin. Pour cela, nous avons choisi des flaques résiduelles d'environ 3 à 4 mètres carré de superficie, peu profondes, afin de capturer l'ensemble des effectifs qui sont triés mensuellement sur le terrain dans un bac de 50 cm de diamètre, soit au total six bacs pour respectivement les stades larvaires  $L_1$ - $L_2$ - $L_3$ - $L_4$ - $L_5$  et les imagos. Après comptage, les individus sont remis dans leurs écosystèmes.

On remarque à la lecture du tableau I que les faibles densités des individus larvaires  $L_1$ - $L_2$ - $L_3$  enregistrées au niveau des deux cours d'eau temporaire et pérenne coïncident au mois d'août avec les fortes densités des imagos mâles et femelles. Parallèlement à cette étude, nos observations sur le terrain se résument aux faits suivants : dès le mois de juillet, on constate une prise en chasse continuelle des adultes vis-à-vis des autres individus larvaires qu'ils paralysent après piqure et sucent, ce qui se traduit par un grand nombre de cadavres plus ou moins frais des différents stades larvaires flottants ou récupérés par divers insectes ripicoles. Ce cannibalisme intraspécifique dû à une réduction de l'espace vital et à la diminution des potentialités trophiques du milieu se généralise dès le mois d'août à tous les niveaux : les individus  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  sont tués par les  $L_4$  et  $L_5$ , l'ensemble de la colonie étant pris en chasse

Prélèvement Nb Ind. capt. par m <sup>2</sup>	1985			1986			1987			1988			
	J	A	S	J	A	S	J	A	S	J	A	S	
	L <sub>1</sub>	65	21	81	71	18	54	78	52	92	53	36	65
L <sub>2</sub>	42	16	78	54	37	69	61	20	76	41	27	93	
L <sub>3</sub>	35	24	11	42	27	18	59	26	17	65	44	29	
L <sub>4</sub>	73	53	33	81	48	39	66	45	2	96	53	18	
L <sub>5</sub>	84	64	44	102	81	55	92	59	38	58	60	44	
IMAGOS	♂	97	76	86	78	108	47	49	98	21	64	75	32
	♀	110	108	97	66	95	32	38	85	103	78	98	44
Cours d'eau permanent : Oued GROU (Plateau Central Marocain-Altitude = 900 m).													

1985			1986			1987			1988		
J	A	S	J	A	S	J	A	S	J	A	S
45	13	07	67	31	11	88	20	12	141	56	19
34	09	00	72	29	05	66	14	03	133	44	09
46	18	04	55	16	00	76	09	00	95	12	00
53	21	00	81	30	00	91	00	00	101	03	00
64	15	09	77	22	00	84	00	00	113	15	02
73	86	11	88	122	06	103	05	00	79	11	00
79	91	02	113	136	13	140	10	00	89	00	00
Cours d'eau temporaire : Oued ASSIRAOU (Plateau Central Marocain-Altitude = 400 m)											

Nb. Ind. capt. par m<sup>2</sup> = Nombre d'individus capturés par m<sup>2</sup>

J=juillet - A=août - S=septembre

Tableau I : Effectifs larvaires et imaginaux d'un *Gerris* aptère ; *Gerris najas cinereus* recensés durant quatre saisons estivales.

par les imagos avec cependant une variante; les individus  $L_5$  n'hésitent pas à engager le combat vis-à-vis des imagos quand ces derniers envahissent leur territoire ce qui se traduit par un respect mutuel entre les  $L_5$  et les adultes. En fait, les individus larvaires  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$  sont facilement paralysés car ils possèdent encore un corps mou (période de mues) ce qui facilite la perforation de la cuticule par le rostre. D'autre part, bien que les groupes d'individus  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et ceux des individus  $L_4$  et  $L_5$  forment des essaims distincts de ceux des imagos, nous remarquons que les deux premiers groupes demeurent en bordure des rives à herbier dense qui constitue à la fois un refuge en cas d'invasion par les adultes et un lieu propice à la chasse aux pucerons, larves de Diptères *Culicidae*, *Tipulidae*, etc. Les adultes et les  $L_5$  "patinant" en zones dégagées à la recherche de proies. Ce morcellement territorial du supra-neuston est visible bien avant la saison estivale : en effet, dès que l'on entre dans la mauvaise saison, du fait de la réduction du plan d'eau et des potentialités trophiques, les différentes tranches d'âges larvaires se trouvent mélangées, d'où l'intensité croissante du cannibalisme au sein de la population. En étudiant la reproduction de *Gerris remigis* Say sur des étangs à Castor au Canada, MATTHEY (1974-1975) remarque un cannibalisme similaire à celui observé dans le Plateau Central marocain, mais hiérarchisé, c'est-à-dire que les  $L_1$  sont tuées par les  $L_2$  et  $L_3$  qui elles mêmes sont paralysées par les  $L_4$  -  $L_5$ , ces dernières étant prises en chasse par les imagos.

Ces observations confirment les diminutions des densités larvaires et l'augmentation des imagos observées (Tableau I). Ce phénomène laisse supposer que le cannibalisme débute en juillet et atteint son maximum durant le mois d'août. Par ailleurs, au niveau du cours d'eau temporaire, les effectifs larvaires et imaginaux chutent considérablement en septembre (Tableau I), ce qui n'est pas le cas des populations de *Gerris najas cinereus* peuplant le cours d'eau permanent au niveau duquel la diminution ne se fait qu'à un degré moindre. Ceci résulte de l'assèchement quasi-total des flaques résiduelles durant ce mois auquel fait suite une invasion progressive des insectes prédateurs ripicoles : Araignées, Dermaptères, Coléoptères *Carabidae* etc., associée à celle des Amphibiens et des Oiseaux. Par ailleurs, on remarque au niveau du cours d'eau pérenne que les densités larvaires des stades  $L_1$  et  $L_2$  augmentent considérablement en septembre (Tableau I) alors qu'au niveau du cours d'eau temporaire c'est le phénomène inverse qui se produit. Compte-tenu du fait que l'ensemble des femelles de *Gerris najas cinereus* capturées en juillet sont bourrées d'œufs, ceci induit de très fortes pontes en août (une femelle peut renfermer de 20 à 30 œufs) qui compensent et rétablissent le taux de mortalité larvaire  $L_1$  -  $L_2$  dans le cours d'eau permanent.

Il faut souligner également que le facteur trophique devenant limitant en saison estivale pour l'accomplissement du cycle biologique, les femelles bourrées d'œufs demeurant à jeun deviennent agressives et s'attaquent aux imagos mâles qu'elles paralysent en introduisant leur rostre dans les articulations des pattes ou au niveau du sillon compris entre le lobe antérieur du pronotum et le vertex, ce qui explique que les effectifs des femelles soient sensiblement plus élevés que ceux des mâles (Tableau I).

Le même phénomène s'observe au niveau des populations de *Velia saulii* (aptère) et *Velia concii* (brachyptère) où le cannibalisme est moins prononcé du fait de la faible densité des effectifs. Les individus les plus jeunes subissent de la part des imagos un harcèlement constant qui s'amplifie au fur et à mesure de l'assèchement du biotope et aboutit au cannibalisme.

### 3.2. - Prédation interspécifique

Cet autre aspect de la prédation observable chez la faune Hémiptérologique aquatique revêt un caractère particulier. En effet, ces insectes étant reconnus comme prédateurs, il n'est pas rare d'observer sur un plan d'eau un Amphibicorise paralysant un Diptère par exemple ou un autre Amphibicorise quand l'espace vital devient réduit : ainsi quand sur un même cours d'eau vivent des populations de *Rhagovelia nigricans* et de *Gerris najas cinereus* et que par suite de l'assèchement progressif du biotope ces deux populations s'affrontent inévitablement, nous assistons alors à de véritables incursions mutuelles dans leurs territoires respectifs.

En période de disette, les *Rhagovelia*, qui généralement se cantonnent en bordure de rive, s'aventurent en zones dégagées à la recherche de proies et deviennent ainsi vulnérables car elles pénètrent dans le territoire des populations de *Gerris*.

Le taux de mortalité chez les Amphibicorises croît sans cesse selon la durée de la saison estivale, celle-ci étant variable en zone maghrébine. En effet, tous "les glisseurs de surface" aptères-microptères-brachyptères : *Hydrometridae*, *Veliidae*, *Mesoveliidae* et *Gerridae* peuvent être considérés comme des populations géographiquement isolées en ce sens que le polymorphisme qui les affecte limite leur capacité de déplacement. Ces Amphibicorises sont victimes d'une prédation soutenue de la part des insectes ripicoles qui n'hésitent pas à envahir les zones encore très humides pour saisir des individus vivants. C'est ainsi que nous avons dénombré des Staphylin, des Dermaptères, des Araignées, des Fourmis et des Coléoptères *Carabidae* retirant du lit boueux des cours d'eau des Hémiptères sus-aquatiques vivants, notamment des *Velia*, des *Hydrometra*, des *Rhagovelia*, etc. De même, la présence de restes d'individus : têtes - abdomens - pattes, etc., associée à une très faible densité individuelle témoignent de cette intense prédation interspécifique à laquelle s'ajoute l'action prédatrice des oiseaux (Moineaux et Hérons) et des Amphibiens (Crapauds). Cependant, si la rapidité de leurs déplacements et leurs sens bien développés permettent aux Araignées et aux Fourmis de s'aventurer en zones boueuses pour récupérer des insectes vivants ou "moribonds", en revanche d'autres insectes ripicoles, en particulier les Coléoptères *Carabidae*, s'embourbent et périssent emprisonnés dans la gangue boueuse.

#### CONCLUSION

En définitive, du point de vue polymorphisme chez les espèces capturées, la forme macroptère domine les autres types de formes brachyptère-microptère et aptère et ceci pour plusieurs raisons :

- D'une part, cette dominance est due au taux de mortalité élevé qui touche les effectifs larvaires soumis à un cannibalisme de la part des imagos.
- D'autre part, s'ajoute une prédation interspécifique par les insectes ripicoles vis-à-vis des imagos polymorphes.
- Enfin, il semble que du point de vue génétique, la forme macroptère est dominante (POISSON, 1940) par rapport aux autres types de forme alaire qui, par suite de leur incapacité au vol, sont condamnées à mourir par cannibalisme intraspécifique, et/ou par prédation interspécifique, d'où disparition en région maghrébine, suivant la durée de la saison estivale, de toute une génération d'individus larvaires et imaginaires, ce qui favorise les formes macroptères.

Par ailleurs, une telle étude est intéressante surtout en eaux temporaires car elle permet de visualiser dans un premier temps un cannibalisme intraspécifique suivi d'une prédation interspécifique : en effet, si les espèces sus-aquatiques polymorphes vivant en eaux pérennes parviennent à survivre durant la mauvaise saison, celles peuplant les dayas (=mares) et les cours d'eau temporaires sont irrémédiablement condamnées à longue échéance à périr faute de nourriture, d'où l'anéantissement quasi-total de la population.

Cependant, bien que le cannibalisme soit présent, les effectifs larvaires et imaginaires n'atteignent jamais ou presque des valeurs inférieures critiques voir nulles dans les stations pérennes, ce qui n'est pas le cas au niveau des cours d'eau temporaires (Tableau I). Ceci laisse supposer que seules les populations d'Amphibicorises des cours d'eau permanents assurent la pérennité des espèces. La réapparition de ces populations dans les stations temporaires dès leur remise en eau trouve son explication au moment des crues car, à ce moment-là, bon nombre d'individus Amphibicorises sont charriés par les courants et une partie d'entre eux se retrouve dans des stations temporaires.

Toutefois, si nous tenons compte du fait que l'ensemble des populations sus-aquatiques inaptes au vol se caractérise par de très fortes densités printanières, on peut imaginer que le phénomène de prédation intraspécifique agit uniquement dans le sens d'une régulation (autorégulation) des populations d'*Amphibicoris* en relation avec le facteur trophique et l'espace vital disponible.

## BIBLIOGRAPHIE

- EKBLOM T. (1927-28). Vererbungs biologische studien uber Hemiptera-Heteroptera - I Hereditas.  
Zool - Bidrag Fran Uppsala, Bd 10.
- GHEIT A. (1985). Organisation de la communauté Hémiptérologique aquatique du Plateau Central marocain.  
Thèse Doctorat 3<sup>e</sup> cycle . Univ. Mohammed V, Rabat, 184 pp.
- MATTHEY W. (1974). Contribution à l'écologie de *Gerris remigis* Say sur deux étangs des Montagnes Rocheuses.  
Bull. Soc. Ent. Suisse 47 (1-2) : 85 - 95 pp.
- MATTHEY W. (1975). Observations sur la reproduction de *Gerris remigis* Say (Hémiptera - Heteroptera).  
Bull. Soc. Ent. Suisse 48 (1-2) : 193 - 198 pp.
- MITIS H. (1937). Okologie und Larven entwicklung der Mitteleuropaischen *Gerris* arten (Heteroptera).  
Zool. Jahrb., Bd 69 - Heft 5 - 6.
- POISSON R. (1933). Note sur les *Mesovelia* de la faune française (Hemiptera - Mesoveliidae).  
Bull. Soc. Ent. Française. Vol. 37 (12) : 181 - 187 pp.
- POISSON R. (1940). Contribution à l'étude des *Gerris* de France et d'Afrique du Nord (Hemiptera - Gerridae).  
Bull. Soc. Sci. Bret - Tome 17, fasc. (3 - 4).
- POISSON R. (1957). Hétéroptères aquatiques, Faune de France.  
Ed. Lechevalier - 61, 263 pp., Paris.
- POISSON R., RICHARD G. et RICHARD G. (1957). Contribution à l'étude de l'essaimage des *Corixidae* (Hemiptera - Corixidae).  
Vie et Milieu, Tome 6 (3) : 243 - 252 pp.

**Ecological structure of a iulid millipede population (*Megaphyllum bicolor crassiflagellum*) in a maquis ecosystem of the Aegen (Naxos island, Cyclades, Greece)**

M. KARAMAOUNA\*

RESUME- L'écologie des diplopodes iulides des écosystèmes méditerranéens est très peu connue. Le présent travail a pour but de rassembler de nouvelles données sur ce sujet.

*Megaphyllum bicolor crassiflagellum* MAURIES & KARAMAOUNA 1984 est une des espèces dominantes de l'écosystème étudié. Cet écosystème présente les deux caractéristiques des écosystèmes méditerranéens: hétérogénéité spatiale et répartition saisonnière des pluies.

L'échantillonnage (quantitatif et sémi-quantitatif) a été réalisé de mars 1982 à mars 1984.

La densité et la biomasse annuelle moyenne étaient de 4,8 ind/m<sup>2</sup> et 15,5 mg/m<sup>2</sup> (poids sec) respectivement. L'activité biologique de l'espèce est limitée pendant la période des pluies. Les adultes et subadultes représentent la fraction de la population la plus active en surface.

La litière sous les arbustes abrite la majorité des individus (76%), constituée en principe par la partie la moins active de la population (immatures); les pierres sous les arbustes abritent la partie la plus active de la population (adultes et subadultes); les zones les plus ouvertes sont les lieux de rencontre des femelles et des mâles pendant la période de reproduction. Les résultats sont comparés aux données de la littérature.

Après discussion, il est proposé que la structure écologique de la population est profondément influencée par le caractère méditerranéen de l'écosystème.

MOTS-CLEFS : Diplopode; Iulidae; structure de population; écosystème méditerranéen; hétérogénéité; phénologie; biomasse; activité; distribution spatiale.

SUMMARY - The ecology of iulid millipedes in mediterranean ecosystems is almost unknown. The present paper attempts to give new data on this subject. *Megaphyllum bicolor crassiflagellum* MAURIES & KARAMAOUNA 1984 is one of the dominant species of the ecosystem into consideration. This ecosystem presents two mediterranean features: spatial heterogeneity and rainfall seasonality.

Sampling (quantitative and semi-quantitative) was carried out from March 1982 to March 1984.

The mean annual density and biomass (dry weight) were 4.8 ind./m<sup>2</sup> and 15.5 mg/m<sup>2</sup> respectively, per m<sup>2</sup> of total surface. The biological activity of the species is restricted to the rainy season; peaks of density are observed in late autumn and winter.

Adults and subadults represent the most surface-active fraction of the population. As regards the spatial distribution: Litter under shrubs shelters the majority (60%) of the individuals, mainly the less surface-active part of the population (immatures); stones under shrubs shelter the most active part of the population (adults and subadults); finally, uncovered areas are the "meeting" places of females and males during the reproductive period.

The results are compared with literature data. After discussion, it is suggested that the ecological structure of the population is deeply influenced by the mediterranean character of the ecosystem.

KEY-WORDS : Millipede; Iulidae; population structure; mediterranean ecosystem; heterogeneity; phenology; biomass; activity; spatial distribution.

**INTRODUCTION**

The ecology of Iulidae has been studied by many scientists (e.g. BLOWER, 1970, 1979; BLOWER & MILLER, 1974, 1977; GEOFFROY, 1979, 1981, 1985; PEDROLI-CHRISTEN, 1981; MEYER, 1985; DAVID 1986, 1988). However, these studies are mainly concerned with species living in deciduous forests of Western and Central Europe. The ecology of iulids living in mediterranean ecosystems is almost unknown.

The particular features of mediterranean ecosystems-low annual precipitations seasona-

\*University of Athens, Biology Department, Section of Ecology and Taxonomy, Athènes 15771, Grèce.

ly distributed in winter with intense summer drought as well as spatial heterogeneity (ASCHMANN, 1973; DI CASTRI, 1981)-make the research on the ecology of Iulidae very interesting: Since iulid millipedes are hygrophilous animals, they are expected to react to the peculiarities of the mediterranean ecosystems by some ecological characteristics.

In the present study the ecological structure of a population of the iulid *Megaphyllum bicolor crassiflagellum* MAURIES & KARAMAOUNA 1984 are investigated in a maquis ecosystem of Naxos island. In this ecosystem, where this iulid was found for the first time (MAURIES & KARAMAOUNA, 1984), it represents one of the dominant species of the millipede community (KARAMAOUNA, 1987).

Clearly, the abundance, biomass, phenology, surface activity and spatial distribution of the species are investigated.

## I. THE SITE

The study area, is located at the north-eastern part of Naxos, the most big island of the Cyclades, in the Aegean archipelago; it lies on a calcareous hill 1.3 km far from the sea shore. The ground is stony with shallow soil of the "terra-rossa" type.

The climate is semi-arid mediterranean (Nahal, 1981), characterized by a strong seasonality of rainfall, with an intense and prolonged dry season from April to November.

The plant community is a maquis with *Juniperus phoenicea*; there also exist other mediterranean shrubs, *Pistacia lentiscus* and *Olea europea* (37%, 7% and 8% of the study area covering, respectively).

The ground is a mosaic characterized by the patchy distribution of several microhabitats used by the species into consideration. These microhabitats can be grouped to three main units: litter under shrubs; stones under shrubs; uncovered areas (tables 1,2).

Table 1 - Surface covering of shrubs by leaf litter, stones and rocks in the study area at Naxos (% of the total surface under each shrub species).

	<i>J.p.</i>	<i>P.l.</i>	<i>O.e.</i>
Litter	55%	65%	35%
Stones	29%	27%	44%
*Rocks	16%	8%	21%

Abbreviations: *J.p.*: *Juniperus phoenicea*

*P.l.*: *Pistacia lentiscus*

*O.e.*: *Olea europea*

\* Rocks are not used by *Megaphyllum bicolor crassiflagellum* as shelters.

The study area is described in detail in KARAMAOUNA (1987) and MATSAKIS *et al.* (1990).

## II. METHODS

### 1.-Quantitative sampling

Quantitative sampling was carried out from November 1982 to March 1984 in monthly intervals. Several complementary methods were used, in order to sample the different microhabitats in the more precise way.

a-Litter under shrubs

Fifteen samples of litter (five of each shrub species) were collected monthly. Each sample, of a surface of 25x25 cm, was composed of the L, F and H layers as well as of A<sub>11</sub> treated

Table 2 - Surface covering of the study area by the microhabitats of *Megaphyllum bicolor crassiflagellum* (% of the total surface)

Microhabitat	
Litter J.p.	20%
Litter P.l.	5%
Litter O.e.	3%
Stones under J.p.	11%
Stones under P.l.	2%
Stones under O.e.	3%
Uncovered areas	38%
82% + 18% rocks	

Note: For abbreviations see table 1.

together. The extraction of millipedes was realized in the laboratory by a Berlese-Tullgren apparatus. This method is used by the majority of scientists working on the ecology of millipedes, e.g. BLOWER & GABBUTT (1964), BLOWER (1970,1979), PEDROLI-CHRISTEN (1977, 1981) GEOFFROY (1979, 1981, 1985), DAVID (1986, 1988).

b- Stones under shrubs

Every month, two or three unitary samples of each shrub species were realized (a unitary sample consisted of about ten stones). Millipedes were found in the soil under the stones, especially at their edges; they were collected by hand and placed in vials with alcohol.

c- Uncovered areas

Four to five 1x1 m quadrats were investigated each month. Stones, soil down to two cm and roots of herbs were searched. Iulids, which were hidden mainly under stones, were collected by hand and placed in vials with alcohol.

2. -Traps

Forty pitfall traps (plastic boxes of 8 cm diameter and 10 cm depth) were placed in the study area, in order to investigate the surface activity of *Megaphyllum bicolor crassiflagellum*; they functioned from March 1982 to March 1983 and were emptied monthly (ethylene glycol was used as collecting fluid).

Pitfall traps are widely used by scientists for the study of surface activity of millipedes, e.g. BANERJEE (1967), BLOWER (1970), COTTON & MILLER (1974), BAKER (1979), DAVID (1982).

3. -Estimation of biomass

For the estimation of the wet weight, a linear equation expressing the cubic root of wet weight ( $Wt_w$ ) as a function of the head width ( $Wh$ ) was established. More precisely, the following equation was found:

$$Wt_w = -0.654 + 3.300 Wh$$

$$r = 0.985$$

The same method was also used by GEOFFROY (1979).

For the estimation of dry weight, the ratio  $Wt_d/Wt_w$  was calculated, being equal to 66%. This value is within the range of values found by other authors, e.g. STRIGANOVA (1969), GEOFFROY (1979), MEYER & EISENBEIS (1985).

In order to estimate the mean density and biomass per  $m^2$  of total surface of the study area, the participation of each microhabitat in the total surface covering was taken into account.

A minute description of the methods reported in the present paper can be found in KARAMAOUNA (1987) and KARAMAOUNA *et al.* (1990).

### III. RESULTS

#### 1.-General quantitative characteristics

The mean annual density and biomass (dry weight) of *M.bicolor crassiflagellum* are equal to 4.8 ind. and 15.5 mg per  $m^2$  of total surface, while during the active period of the species (see next paragraph) these values are equal to 15.8 ind. and 52.7 mg per  $m^2$ .

The mean participation of adult and subadult individuals in density and biomass is 50% and 96% respectively.

#### 2. -Monthly variations of abundance and biomass (per $m^2$ of total surface)

These variations are studied using the quantitative sampling data from November 1982 to March 1984.

In fig. 1 it is clearly seen that the appearance of the species is restricted to the period Dec.-Mar. Actually, from April to November the individuals are found, estivating, in moulting chambers made of soil (KARAMAOUNA, 1987).

Using the Spearman correlation, a very significant correlation ( $p < 0.01$ ) between the phenology pattern of *M.bicolor crassiflagellum* and the respective pattern of rainfall is found. The greatest value of density is observed in Feb. 1983 (30 ind./ $m^2$ ) while the greatest value of biomass in Jan. 1983 (105 mg/ $m^2$ ).

#### 3. - Activity

The surface activity was studied with the aid of pitfall traps, which were in operation from March 1982 to March 1983.

During this period *M. bicolor crassiflagellum* was the most surface-active species of the millipede community at Naxos, representing the 61.6% of the total number of millipedes captured (N=146). The majority of these (70%) were adults and subadults.

Surface activity is also restricted to the rainy period. Peaks are observed in November (16 Nov. - 12 Dec.) and March (10 Mar. - 8 Apr.) (fig.2).

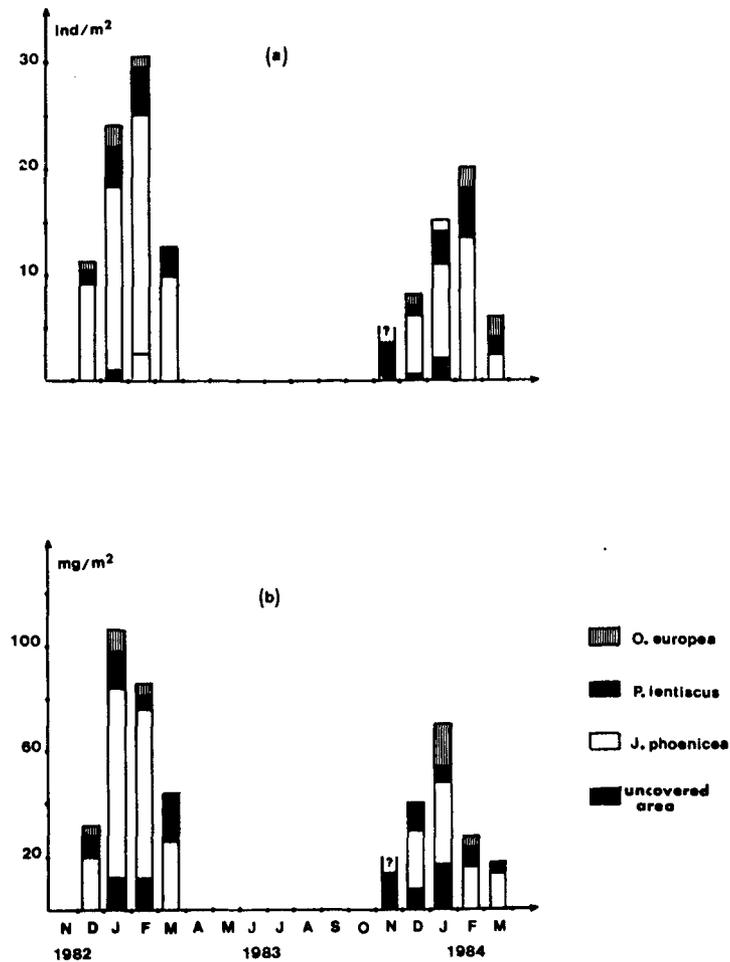
#### 4. - Spatial distribution

The spatial distribution described in this paragraph concerns, actually, the day-time shelters of the species; it is based on the quantitative sampling data.

According to these data, 60% of the individuals are found in litter; the majority of these individuals (76%) are sexually non-differentiated immatures. A 35% uses as shelters the stones under the shrubs, the majority of them (76%) being adults and subadults. Finally, a 5% is found in the uncovered areas, especially during the reproductive period when many individuals were found *in copula*; none of the specimens found in these areas is immature.

In order to proceed to a more subtle analysis of the spatial distribution, the mean densities of the species in the microhabitats used as shelters are compared using the Kruskal-Wallis ANOVA and the multiple comparisons testing (SIEGEL, 1956; ZAR, 1984). These microhabitats are the following: *J. phoenicea*, *P. lentiscus* and *O. europea* litter; stones under the three shrub species; uncovered areas.

The results of this analysis indicate that *M. bicolor crassiflagellum* presents a preference for *J. phoenicea* and *P. lentiscus* litter as well as for stones of both three species of shrubs ( $p < 0.05$ ).



**Fig 1.** - Mean monthly variations (a) of density (ind/m<sup>2</sup>) and (b) of biomass (mg/m<sup>2</sup>) (dry weight) of *M. bicolor crassiflagellum* per m<sup>2</sup> of total surface of the study area, from November 1982 to March 1984.

?: No samples taken.

#### IV. DISCUSSION

Literature data concerning mean density and biomass of iulid millipedes - all from temperate forests of Western and Central Europe - are compared to data of the present study in table 3; most of these data deal with the mean abundance and biomass during the most active period of the species into consideration. It can be noticed that the values of density and biomass of *M. bicolor crassiflagellum* range among the most low values observed in literature.

Two possible reasons could be proposed for this fact: climatic factors, especially the intense drought of the study area, as well as the chemical composition of the leaf litter - rich in polyphenols or terpenes - both characteristic of mediterranean ecosystems.

The phenology pattern followed by *M. bicolor crassiflagellum* is adapted to the pecu-

liarities of the mediterranean climate: biological activity restricted to the rainy season and peaks of density in late autumn and winter. Clearly, peaks of Jan. 1983 and Dec. 1983 are related

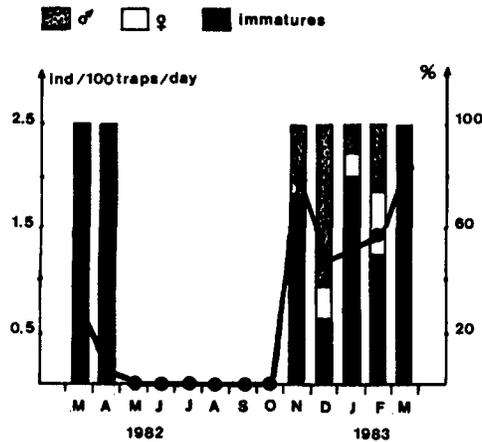


Fig. 2. - Mean monthly variations of the surface activity of *M. bicolor crassiflagellum* (ind/100traps/day), and age structure (males, females, immatures) of the individuals captured (% of the individuals captured) from March 1982 to March 1983.

to the reactivation of the population by the first intense autumn rains after the dry season estimation; this reactivation is followed by the reproductive period (adults and subadults: 98% of the total density). Peaks of Feb. 1983 and Jan. - Feb. 1984 are related to the appearance of offspring (immatures: 79% of the total density).

The above pattern is opposed to the phenology of iulids living in deciduous forests, where the biological activity is almost continuous throughout the year and peaks of density are observed in spring and autumn (GEOFFROY, 1979, 1981; DAVID, 1982).

As far as surface activity is concerned, it can be assumed that the most active individuals are the adults and subadults. This fact agrees with the results of several scientists e.g. BLOWER (1970), COTTON & MILLER (1974), BAKER (1979) and DAVID (1982).

Two peaks of surface activity are observed: the first (16 Nov. - 12 Dec.) is related to the reactivation of the population by the first rains, while the second (10 Mar. - 8 Apr.) could be related to the dispersal and selection of suitable shelters for the dry season by the newly born immatures (fig. 2).

The last point investigated is the spatial distribution. Actually, the spatial heterogeneity of the site characteristic of mediterranean ecosystems gives to the species the opportunity to choose among a variety of shelters: three different types of litter, stones under three different shrub species, and uncovered areas with stones and short vegetation. According to the results, it can be suggested that shrub litter represents the shelter of the less surface-active fraction of the population (sexually non-differentiated immatures). Litter under *J. phoenicea* and *P. lentiscus* is preferred to this of *O. europea*; possibly because of the lower water content of this litter in relation to the other two types (KARAMAOUNA, 1987).

Stones under shrubs seem to be shelters of the most surface-active fraction of the population (adults and subadults). This fact is also mentioned by BLOWER (1985).

As regards the uncovered areas, their role, while not important from quantitative aspect, is very crucial during the reproductive period: it seems to be the "meeting" place of females and males.

\* \* \*

The present study attempts to enlighten the ecological structure of a iulid millipe-

de population living in a mediterranean maquis ecosystem of Greece.

Table 3 - Literature data concerning mean densities and biomasses of iulid millipedes

Author	Type of ecosystem -Country-	Species	Density ind/m <sup>2</sup>	Biomass mg/m <sup>2</sup>
BLOWER 1970	Mixed deciduous forest (G.Britain)	<i>Iulus scandinavicus</i>	56	940
BLOWER & MILLER 1974	" "	<i>Ophiulus pilosus</i>	260	2100
BLOWER & MILLER 1977	" "	<i>O. pilosus</i>	40	-
		<i>Tachypodoiulus niger</i>	33	-
		<i>Cylindroiulus nitidus</i>	107	-
BLOWER 1979	" "	<i>I. scandinavicus</i>	5	147
		<i>O. pilosus</i>	18	170
		<i>T. niger</i>	27	340
		<i>C. nitidus</i>	104	855
GEOFFROY 1985	Mixed deciduous forest (France)	<i>C. nitidus</i>	19	-
		<i>C. punctatus</i>	133	-
PEDROLI-CHRISTEN 1981	Oak forest (Switzerland)	<i>C. nitidus</i>	29	-
		<i>Leptophyllum nanum</i>	37	-
MEYER 1985	Deciduous forest (Austria)	<i>Leptoiulus saltivagus</i>	216	1160
DAVID 1986	Deciduous forest (France)	<i>C. nitidus</i>	41	-
		<i>C. londinensis</i>	4	-
Present work	Maquis ecosystem (Greece)	<i>M. bicolor crassiflagellum</i>	16	53*

\* dry weight; the other data deal with fresh weight

As a final conclusion it can be suggested that this structure is deeply influenced by the mediterranean characteristics of the ecosystem.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The present work was supported by the program "Structure and energy flow of Aegean insular ecosystems", partly financed by EEC, carried out by the Section of Ecology & Taxonomy of

the University of Athens with the assistance of the Laboratory of Zoology of the École Normale Supérieure, Paris.

## REFERENCES

- ASCHMANN, H. (1973). Distribution and peculiarity of mediterranean ecosystems. In: (DI CASTRI, F. & MOONEY, H.A.) *Mediterranean type ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin:11-19.
- BAKER, G.H. (1979). The activity patterns of *Ommatoiulus moreletii* (Diplopoda, Iulidae). *J. Zool., Lond.*, 188: 173-183.
- BANERJEE, B. (1967). Diurnal and seasonal variations in the activity of the millipedes *Cylindroiulus punctatus* (Leach), *Tachypodoiulus niger* (Leach) and *Polydesmus angustus* Latzel. *Oikos*, 18: 141-144.
- BLOWER, J.G. (1970). The millipedes of a Cheshire wood. *J.Zool., Lond.*, 160: 455-496.
- BLOWER, J.G. (1979). The millipede faunas of two British limestone woods. In: (Camatini, M., ed.) *Myriapod Biology*. Academic Press, Lond.: 203-214.
- BLOWER, J.G. (1985). *Millipedes. Synopses of the British fauna (New series)*, 35, Linnean Soc. Lond. 242 pp.
- BLOWER, J.G. & GABBUTT, P.D. (1964). Studies in the millipedes of a Devon oak wood. *Proc.zool.Soc. Lond.*, 143: 143-176.
- BLOWER, J.G. & MILLER, P.F. (1974). The life cycle and ecology of *Ophiulus pilosus* (Newport) in Britain. *Symp. zool. Soc. Lond.*, 32: 503-525.
- BLOWER, J.G. & MILLER, P.F. (1977). The life history of the julid millipede *Cylindroiulus nitidus* in a Derbyshire wood. *J. Zool., Lond.*, 183:339-351.
- COTTON, M.J. & MILLER, P.F. (1974). A population of *Cylindroiulus latestriatus* (Curtis) on a sand dune. *Symp. zool. Soc. Lond.*, 3: 589-602.
- DAVID, J-F. (1982). Variabilité dans l'espace et dans le temps des cycles de vie de deux populations de *Cylindroiulus nitidus* (Verhoeff) (Iulida). *Rev.Ecol. Biol. Sol*, 19,3: 411-425
- DAVID, J-F. (1986). Les peuplements de diplopedes de trois stations diversement enrésinées en forêt d'Orléans. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 302, 3: 7-10.
- DAVID, J-F. (1988). *Les peuplements de diplopedes d'un massif forestier tempéré sur sols acides*. Thèse doctorat ès-Sciences. Univ. Paris VI. 225 pp.
- DI CASTRI, F. (1981). Mediterranean-type shrublands of the world. In: (DI CASTRI, F., GOODALL, D.W. & SPECHT, R.L., eds.) *Mediterranean-type shrublands*. Elsevier: 1-52.
- GEOFFROY, J-J. (1979). *Les peuplements de chilopodes et de diplopedes d'une Chênaie-Charmaie (Station Biologique de Foljuif, Seine et Marne)*.Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VI. 179pp.

- GEOFFROY, J-J. (1981). Étude d'un écosystème forestier mixte. V. Traits généraux du peuplement de diplopodes édaphiques. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 18: 357-372.
- GEOFFROY, J-J. (1985). Les diplopodes d'un écosystème forestier tempéré; répartition spatio-temporelle des populations. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 55,1: 78-87.
- KARAMAOUNA, M. (1987). *Ecology of millipedes in mediterranean coniferous ecosystems of Greece*. Ph.D. Thesis, Univ. of Athens, 252 pp.
- KARAMAOUNA, M., LEGAKIS, A., PARASCHI, L. & BLANDIN, P. (1990). Étude d'un écosystème de maquis (Île de Naxos, Cyclades, Grèce). Traits généraux du peuplement de macroarthropodes édaphiques. *Bull. Ecol.*, 21 (in press).
- MATSAKIS, J., TSIOURLIS, G., KARAMAOUNA, M., LEGAKIS, A., PARASCHI, L. (1990). Étude d'un maquis insulaire à *Juniperus phoenicea* (Naxos, Cyclades): présentation du biotope. *Bull. Ecol.*, 21 (in press).
- MAURIES, J-P. & KARAMAOUNA, M. (1984). Myriapodes-diplopodes nouveaux et peu connus des îles de Naxos, Paros et Antiparos (Cyclades, Grèce). *Biol. Gallo-Hellen.*, 11,1:51-59.
- MEYER, E. (1985). Distribution, activity, life-cycle and standing crop of Julidae (Diplopoda, Myriapoda) in the Central Alps (Tyrol, Austria). *Holarctic Ecology*, 8:141-150.
- MEYER, E. & EISENBEIS, G. (1985). Water relations in millipedes from some alpine habitat types (Central Alps, Tyrol) (Diplopoda). *Bijdragen tot de Dierkunde*, 55:131-142.
- NAHAL, I. (1981). The mediterranean climate from biological viewpoint. In: (DI CASTRI, F., GOODALL, D.W. & SPECHT, R.L., eds.) *Mediterranean-type shrublands*, Elsevier: 63-93.
- PEDROLI-CHRISTEN, A. (1977) Étude des diplopodes dans une tourbière du Haut-Jura. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 100: 21-34.
- PEDROLI-CHRISTEN, A. (1981). Étude des peuplements des diplopodes dans six associations forestières du Jura et du plateau suisse (région Neuchâteloise). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 104: 89-106.
- SIEGEL, S. (1956). *Non-parametric statistics*. International student edition. McGraw-Hill. 311 pp.
- STRIGANOVA, B.R. (1969). The evaluation of assimilability of different leaf-litters by millipedes (Diplopoda). *Zool. Zh. USSR*, 48,6: 821-826.
- ZAR, J.H. (1984). *Biostatistical analysis*. 2nd ed. Prentice Hall, N.J. 696 pp.



**"Les chênaies à *Quercus macranthera* F. et M. dans le massif de l'Alborz (Iran) et les chaînes limitrophes (grand et petit Caucase).**

J. C. KLEIN\*  
A. LACOSTE\*

**RESUME** - Sur le versant nord de l'Alborz et aux extrémités orientales du Grand et du Petit Caucase, les chênaies à *Quercus macranthera* qui, au sein des Quercu-Fagetea, peuvent être rattachées aux Rhododendro-Fagetalia orientalis Quézel, Barbéro & Assadollahi 1980, constituent l'ultime groupement forestier d'altitude. Elles se rapportent à deux grands types, liés à des conditions climatiques assez particulières :

- le premier, décrit de l'Alborz central, sous climat humide et tempéré, d'extension altitudinale réduite (2.400-2.800 m), succède à la hêtraie à *Fagus orientalis*. Il est représenté par l'Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae, se différenciant en trois sous-unités, s'échelonnant en altitude. Des groupements très voisins sont signalés sur les versants nord et sud du Grand Caucase oriental (2.000 / 2.400 et 2.200 / 2.500 m) et la bordure nord et nord-est du Petit Caucase.

- le second type, sous climat à tendance continentale sèche, est développé dans l'Alborz oriental et surtout en Arménie centrale et méridionale, ainsi qu'au sud de l'Azerbaïdjan, où les influences climatiques de la mer Noire et de la Caspienne sont considérablement atténuées par les massifs montagneux environnants. Compte tenu de la disparition de la hêtraie, l'amplitude altitudinale de cette chênaie peut atteindre près de 1.300 m, sa limite inférieure pouvant s'abaisser jusqu'à 1.400 m. Bien que correspondant à des groupements nettement plus thermophiles, ce type semble toutefois s'insérer, en ce qui concerne les unités supérieures, dans le cadre syntaxonomique déjà précisé.

Il est intéressant de constater que se retrouve dans ces chênaies, quel que soit leur type, un certain nombre d'espèces représentatives de syntaxons souvent liés aux lisières des groupements forestiers des Quercu-Fagetea européens (Artemisietea vulgaris, plus particulièrement l'Alliarion, et Epilobietea) ou du Quercion pubescenti-petraeae Br.-Bl. 1931 (Trifolio-Geranietea). En définitive, dans un contexte forestier restant de nature euro-sibérienne, le remplacement, au niveau subalpin de ces massifs asiatiques<sup>1</sup>, des Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. 1939 européens par des unités dépendantes des Quercu-Fagetea, est un élément particulièrement marquant. L'explication de ce phénomène est vraisemblablement à rechercher dans le régime de faibles glaciations ayant prévalu sur ces massifs et qui a étroitement conditionné les migrations floristiques, plus particulièrement entre l'Europe méridionale et ces régions asiatiques.

**MOTS CLEFS** - Iran, Alborz, Caucase, Chêne, Quercu-Fagetea, *Quercus macranthera*.

**SUMMARY** - On the northern slopes of Alborz and the eastern extremities of the Great and Little Caucasus, the oak groves of *Quercus macranthera* F. & M. belong to the Quercu-Fagetea (Br.-Bl. & Viegl. 1937) Fuk. & Fabij. 1968 and particularly to the Rhododendro-Fagetalia orientalis Quézel, Barbéro & Akman 1980. These forests make up the last mountainous forestry communities and are connected to two great types, distinguished by particular climatic conditions :

- the first, described from central Alborz, under damp and temperate climate, with a limited belt (2.400-2.800 m.s.m.), takes the place of the beech grove (*Fagus orientalis* Lipsky) above 2.400 m. It is represented by the Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae ass. nov., with three subassociations, taking over one another in altitude. Some groupings very similar are reported from the northern and southern slopes of

<sup>1</sup> La crête axiale du Grand Caucase étant considérée comme la limite entre l'Europe et l'Asie, le versant méridional de ce massif, le Petit Caucase et l'Alborz se situent donc en Asie.

\* Université Paris XI, UA CNRS 121, Bâtiment 362, F 91405 Orsay Cedex.

the eastern Great Caucasus (2.000/2.400 et 2.200/2.500 m.s.m.) and from the north and north-east edge of the Little Caucasus.

- the second type, spreads out in eastern Alborz, in central and eastern Armenia and south of Azerbajdzhan, under dry and continental climatic tendencies, because the moist and cold climatic effects of Black and Caspian Seas are watered down by the surrounding mountains. With the disappearance of the beech grove, the oak grove spreads over a difference in level of 1.300 m, the lower limit going down 1.400 m.s.m.. Although this type suits to more thermophilous groupings, it seems to belong to the same upper syntaxonomics units that the first preceding.

In both types, several species are found, characteristic of the syntaxons linked to the edge of forestry groupings of european *Quercio-Fagetea* (*Artemisietea vulgaris*, more particularly *Alliarion* et *Epilobietea*) or *Quercion-pubescentis petraeae* (*Trifolio-Geranietea*).

Finally, one of the most striking features of these asiatic mountains belonging to the euro-siberian floristic region, is the lack of the european *Vaccinio-Piceetea* at the subalpine belt and their replacement by the *Quercio-Fagetea*.

## Introduction

Le massif de l'Alborz (fig. 1 et 5) constitue une limite phytogéographique remarquable : la végétation irano-turkestanienne (RECHINGER, 1986), représentée par les groupements alpins en coussinet et les communautés à grandes ombellifères (KLEIN, 1982 a, 1982 b, 1984, 1987, 1988), a investi l'ensemble du versant méridional ainsi que les sommets du massif, atteignant plus de 4.000 m dans sa partie centrale. Par contre, le flanc nord est phytogéographiquement composite : depuis les rives de la Caspienne jusqu'à 3.000 m d'altitude, la végétation, essentiellement forestière, est de caractère euro-sibérien ; au-delà, elle est composée d'éléments irano-turkestaniens redescendus des crêtes.

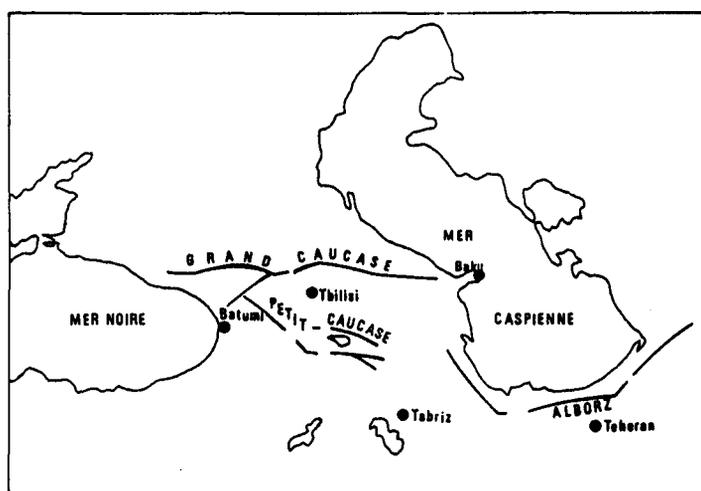


Fig. 1 : Carte de situation de l'Alborz, du Grand et du Petit Caucase.

Dans l'Alborz central, l'ultime groupement forestier du versant septentrional, domine par *Quercus macranthera* F. & M.<sup>2</sup>, succède autour de 2.400 m à la hêtraie montagnarde à *Fagus orientalis* Lipsky et, au-delà de 2.800 m, s'efface au profit des pelouses subalpines. Dans l'Alborz oriental, compte tenu de la disparition de la hêtraie, ce groupement atteint une plus large extension, sa limite inférieure avoisinant 2.000 m

<sup>2</sup> Pour la répartition de l'espèce (Petit et Grand Caucase, nord de l'Anatolie et de l'Iran), voir BROWICZ, 1982, 1, p. 39, carte p. 130. Aux limites occidentales de son aire, elle forme de nombreux hybrides avec *Quercus pubescens* et *Q. petraea* (DAVIS, 1982, 1, p. 667).

La chênaie à *Quercus macranthera* paraît donc occuper dans toute la chaîne l'étage habituellement dévolu aux formations des Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. 1939 dans les massifs plus occidentaux, groupements qui font ici totalement défaut.

Un même contraste de distribution s'observe, cette fois selon une direction nord-est / sud-ouest, aux extrémités orientales du Petit Caucase (fig. 1 et 2) : dans la partie nord-orientale du massif, face au bassin de la Kura, du Trialet au Karabakh septentrional, la chênaie, comme dans l'Alborz central, remplace la hêtraie ; mais en Arménie centrale et méridionale, ainsi qu'au Karabakh méridional (Azerbajdazhan), avec la disparition de la hêtraie, la chênaie acquiert une importance beaucoup plus considérable avec un étage potentiel de végétation se développant en altitude sur plus de 1.000 m et une disposition identique à celle observée dans l'Alborz oriental. Ce contraste semble correspondre, tant dans l'Alborz que dans les chaînes limitrophes, à une modification progressive des conditions bioclimatiques du type montagnard humide vers une double tendance vers la continentalité et surtout la sécheresse, encore plus propice au développement de la chênaie.

Sous ces conditions, le Chêne témoigne d'une meilleure aptitude que le *Fagus orientalis*, son concurrent le plus direct à supporter les faibles précipitations. GULISASHVILI (1966, p. 382 et 391) dans une synthèse sur les forêts de Géorgie apporte sur ce point les précisions suivantes, sans qu'il soit possible malheureusement de les rapporter à une zone géographique précise et à des niveaux altitudinaux définis :

- "dans la partie orientale de sa région de répartition ... ce chêne se contente de 400-450 mm de précipitations annuelles avec une humidité relative de 70%", alors que le hêtre peut recevoir de 500 à 1.730 mm avec 71 à 79% d'humidité relative<sup>3</sup>.

Par contre, dans les zones occidentales du Grand et du Petit Caucase, la chênaie à *Quercus macranthera* fait totalement défaut, en raison de conditions trop humides, plus favorables à d'autres types forestiers.

En définitive, la prise en compte des principales différences climatiques entre les divers massifs est un élément important de compréhension de la répartition de ce type de formation dans les chaînes d'Asie occidentale.

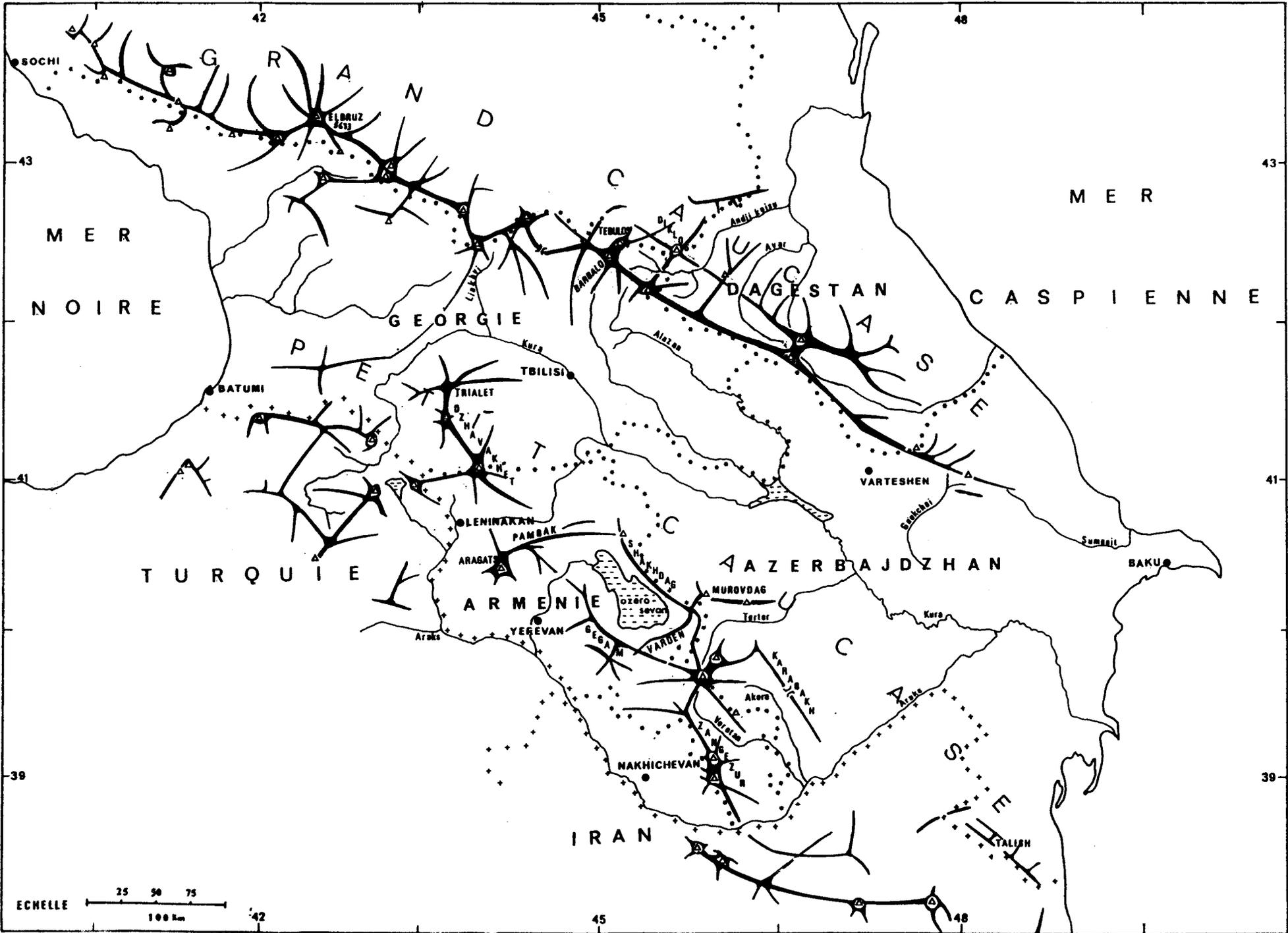
## I. CONTEXTE CLIMATIQUE

### I.1. MASSIF DE L'ALBORZ

#### I.1.1. CONDITIONS GENERALES

Au plan climatique, l'Alborz apparaît comme une zone d'affrontement entre deux masses d'air qui constituent au-dessus du massif une ligne de front. L'une, issue de l'anticyclone subtropical, se dessèche, se réchauffe ou se refroidit selon la saison, au cours de son passage sur les hauts plateaux iraniens. L'autre, d'origine sibérienne, qui se refroidit à partir de l'automne et constitue un centre de haute pression, balaie du nord-est au sud-ouest la mer Caspienne, encore relativement chaude à cette saison. Cette advection est à l'origine d'une rapide évaporation accroissant l'humidité relative. Parvenu sur les pentes septentrionales de l'Alborz, cet air marin, humide et instable, s'élève, entraînant d'intenses chutes de pluie. Il rencontre en altitude l'air continental sec, d'origine subtropicale, venu des hauts plateaux iraniens et qui a gravi de son

<sup>3</sup> Les basses températures liées à l'altitude peuvent également jouer en faveur du *Quercus macranthera* dans les régions où il est en compétition avec le *Fagus orientalis* : "à sa limite supérieure, il présente une période de végétation de deux à deux mois et demi, avec une température moyenne en juillet de 9 à 10". A l'étage du hêtre, cette température se situe entre 16,5 et 18,5°, entraînant une période de végétation de 5 mois (GULISASHVILI, id.). La baisse des précipitations apparaît néanmoins comme le facteur prédominant puisqu'aux mêmes altitudes (1.000-2.000 m) le hêtre peut prospérer (Caucase oriental) ou disparaître (Transcaucasie méridionale).



côté les pentes méridionales. Ce schéma explicatif (KHALILI, 1973) conserve sa valeur durant l'été où les vents venus du sud, chauds et secs après avoir balayé les hauts plateaux iraniens torrides à cette saison, franchissent les crêtes à plus de 4.000 m d'altitude. Au contraire les vents du nord, frais et chargés d'humidité, ne peuvent s'élever au-delà de 3.000 m, maintenant sur le versant caspien à ces altitudes, et parfois durant plusieurs semaines, une mer de nuage persistante qui "réduit le rayonnement solaire et l'amplitude thermique" (DRESCH, 1960, p. 102).

### I.1.2. REGIMES PLUVIOMETRIQUE ET THERMIQUE DU VERSANT NORD DE L'ALBORZ

Il n'existe aucune donnée climatique d'altitude concernant le flanc nord de l'Alborz. Cependant, l'extrapolation des valeurs relatives aux stations situées au pied du massif peut donner une idée des régimes pluviométrique et thermique sur ce versant, dans la zone de développement des forêts de *Quercus macranthera* (entre 2.000 et 2.800 m).

D'après les données présentées par DJAZIREI (1964, tabl. 1, p. 15), pour les stations côtières de Bandar-Pahlavi, Ramsar et Babolsar et pour la station de Gorgan à l'est de la mer Caspienne, il apparaît que :

- la pluviométrie diminue d'ouest en est, à partir de la longitude de Bandar-Pahlavi. En effet, dans la mesure où la branche anticyclonique sibérienne (nord-est / sud-ouest) balaie une surface de mer Caspienne de plus en plus restreinte d'ouest en est, elle réduit à proportion sa charge d'humidité.

- la moyenne saisonnière annuelle des précipitations montre un maximum en automne et un minimum très relatif au printemps, sans véritable saison sèche, à la différence du flanc sud.

Un tel régime général demeure probablement valable pour la zone altitudinale considérée, mais il serait par trop hasardeux de proposer une estimation des précipitations pour ces niveaux. En effet, selon KHALILI (1973, p. 227 et 228), la pluviométrie diminuerait avec l'altitude dans une fourchette de 22 à 68 mm par 100 m, amplitude qui rend vaine toute tentative d'extrapolation. En effet, quels que soient les chiffres retenus, une telle évaluation conduit à des précipitations négatives dans la tranche altitudinale de développement de la chênaie à *Quercus macranthera* ! En définitive, seule la comparaison avec des zones homologues des massifs limitrophes autorise une estimation globale, allant de 1.400 (Atlas Azerbaïdjan, 1963, p. 49 et 89) à 400 mm (Atlas Arménie, 1961, p. 28 et 52), de l'Alborz central à l'Alborz oriental. Il apparaît donc que, sur l'ensemble des formations de feuillus du versant nord de l'Alborz, cette chênaie présente l'alimentation hydrique la plus faible et que cette alimentation diminue d'ouest en est.

Du point de vue thermique, à partir de données recueillies dans les mêmes stations (DJAZIREI, 1964, tabl. 1, p. 15), il s'avère que :

- les températures augmentent régulièrement d'ouest en est, à partir de Bandar-Pahlavi.
- l'amplitude thermique annuelle (entre la moyenne des maxima et celle des minima) s'accroît selon la même orientation, témoignant ainsi d'un gradient de continentalité.

En conclusion, à l'échelle de l'ensemble de l'Alborz, la chênaie à *Quercus macranthera* se développe dans le secteur oriental sous les conditions les plus sèches, les plus chaudes et les plus continentales.

### I.2. MASSIFS DU GRAND ET DU PETIT CAUCASE

Un système analogue, mais plus complexe, régit les précipitations et les températures du Grand et du Petit Caucase, avec l'intervention des anticyclones de Kara, de Scandinavie, des Açores, de la Russie méridionale et de l'Asie centrale, ainsi que l'anticyclone subtropical. Ce dernier, porteur d'air chaud et sec,

s'oppose à l'air frais et humide des précédents, amené par leurs branches occidentales après traversée de la mer Noire, et orientales après passage sur la Caspienne. L'importance des branches anticycloniques porteuses d'air frais et humide et jouant un rôle modérateur sur les amplitudes thermiques est très inégale : ainsi sur le versant sud du Caucase qui s'étend sur près de 1.000 km de long, l'influence de la Caspienne ne dépasse qu'exceptionnellement la région de Varteshen, située à près de 200 km de la côte, alors que dans la vallée de l'Alazan (fig. 2), plus à l'ouest, prévaut encore celle de la mer Noire. A la différence de cette dernière, l'emprise de la mer Caspienne paraît donc se limiter aux massifs situés dans sa proximité immédiate.

En conséquence, un gradient de continentalité nord-est / sud-ouest apparaît d'une extrémité à l'autre du Grand Caucase avec l'affaiblissement progressif des effets de la Mer Noire (fig. 3). Pour la même raison, il s'y superpose un gradient de précipitations orienté sud-est / nord-ouest (fig. 4). Ceci est confirmé par les données relevées tout au long de la chaîne entre 1.750 et 2.380 m : l'amplitude thermique, entre la température moyenne annuelle du mois le plus froid (janvier) et celle du mois le plus chaud (juillet ou août), s'y échelonne de 18,5° à 25,5°, en passant par 20,5° dans la zone médiane (GULISASHVILI & al. 1975, p. 168). A ces gradients thermique et hydrique, correspond un remplacement successif des types de forêts développées à l'étage subalpin : forêts de chêne pontique (*Quercus pontica* C. Koch) au voisinage de la mer Noire, sous 2.000 à 4.000 mm de précipitations annuelles (id. auct., p. 169), cédant place dans la partie centrale aux forêts "boréales" à pin et bouleau, enfin aux forêts à *Quercus macranthera* qui dans la partie nord-orientale perçoivent, à ce niveau altitudinal, de 1.200 à 1.400 mm (Atlas de l'Azerbaïdjan, 1963, p. 49).

Un même gradient de continentalité nord-ouest / sud-est caractérise le climat du Petit Caucase auquel vient toutefois se combiner une composante de même nature, sensiblement orientée nord-est / sud-ouest et précédemment mentionnée (fig. 3). Il existe là aussi un gradient de précipitations d'orientation sud-est / nord-ouest (fig. 4). Ainsi s'opposent la zone septentrionale plus humide et la frange méridionale franchement continentale et sèche, puisque directement soumise à l'influence de l'anticyclone subtropical, porteur d'air sec et chaud, et moins accessible aux branches anticycloniques caspiennes et euxines, en raison de sa situation géographique très enclavée.

## II. LA CHENAIE A *QUERCUS MACRANTHERA* DANS L'ALBORZ CENTRAL

### II.1. INDIVIDUALISATION ET COMPOSITION SPECIFIQUE

Les données relatives à la chênaie à *Quercus macranthera* et aux pelouses de substitution <sup>4</sup> se composent de 79 relevés, confectionnés entre 2.400 et 3.000 m d'altitude, sur sol basique (pH 7,5-8) et totalisant 274 espèces. Faute d'avoir pu retrouver ailleurs cette chênaie dans un état de conservation suffisant, la collecte des données n'a pu être étendue à tout le massif et s'est trouvée limitée géographiquement aux deux vallées voisines de Ki-Kouh (bergerie de Djirtchal) et de Firuz Abad (bergerie de Kalenov) (fig. 5). De ce fait, ces données n'offrent probablement qu'une variabilité très réduite du groupement. Mais, sur le flanc nord de l'Alborz, comme d'ailleurs dans tout le massif, l'anthropisation est extrême : il existe sur le revers septentrional du Takht-e-Soleiman de véritables villages habités l'été par les propriétaires de troupeaux et leurs familles, comme à Mazitchal (2.150 m), Dalir (1.900 m), Illit (1.700 m), Anguran (2.000 m) (fig. 4). Leur implantation a provoqué non seulement la disparition de la forêt (bois de construction et de chauffe) mais aussi celle des pelouses de remplacement. Autour de ces villages, les pay-

<sup>4</sup> leur étude fera l'objet d'un travail ultérieur.

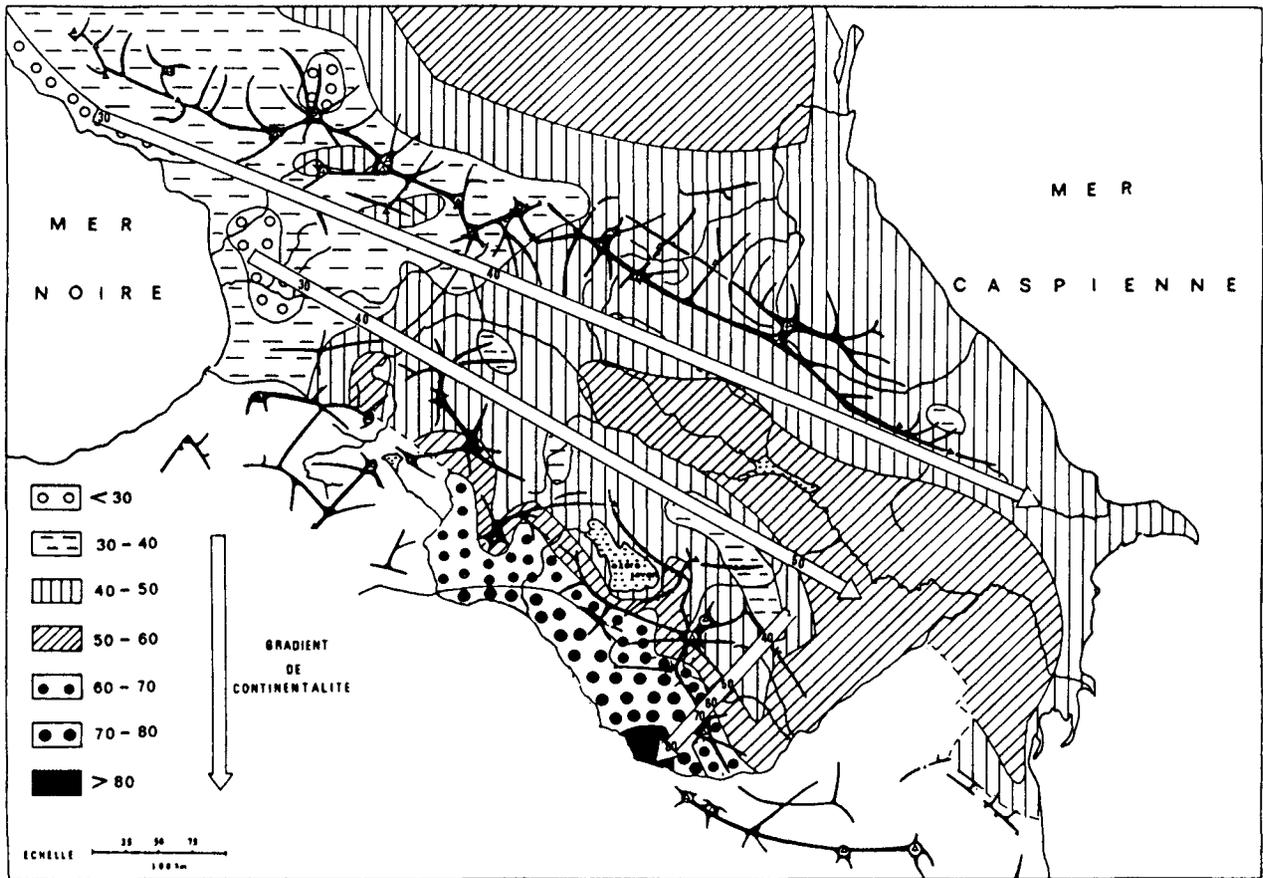


Fig. 3 : Carte de continentalité du Grand et du Petit Caucase.  
 d'après la formule de Tsenkera :  $K = 6/5 \cdot (A/F) \cdot 100 - 20$ , A étant la moyenne annuelle de l'amplitude des températures de l'air et F la latitude du lieu (GERASIMOV, 1966, p. 309).

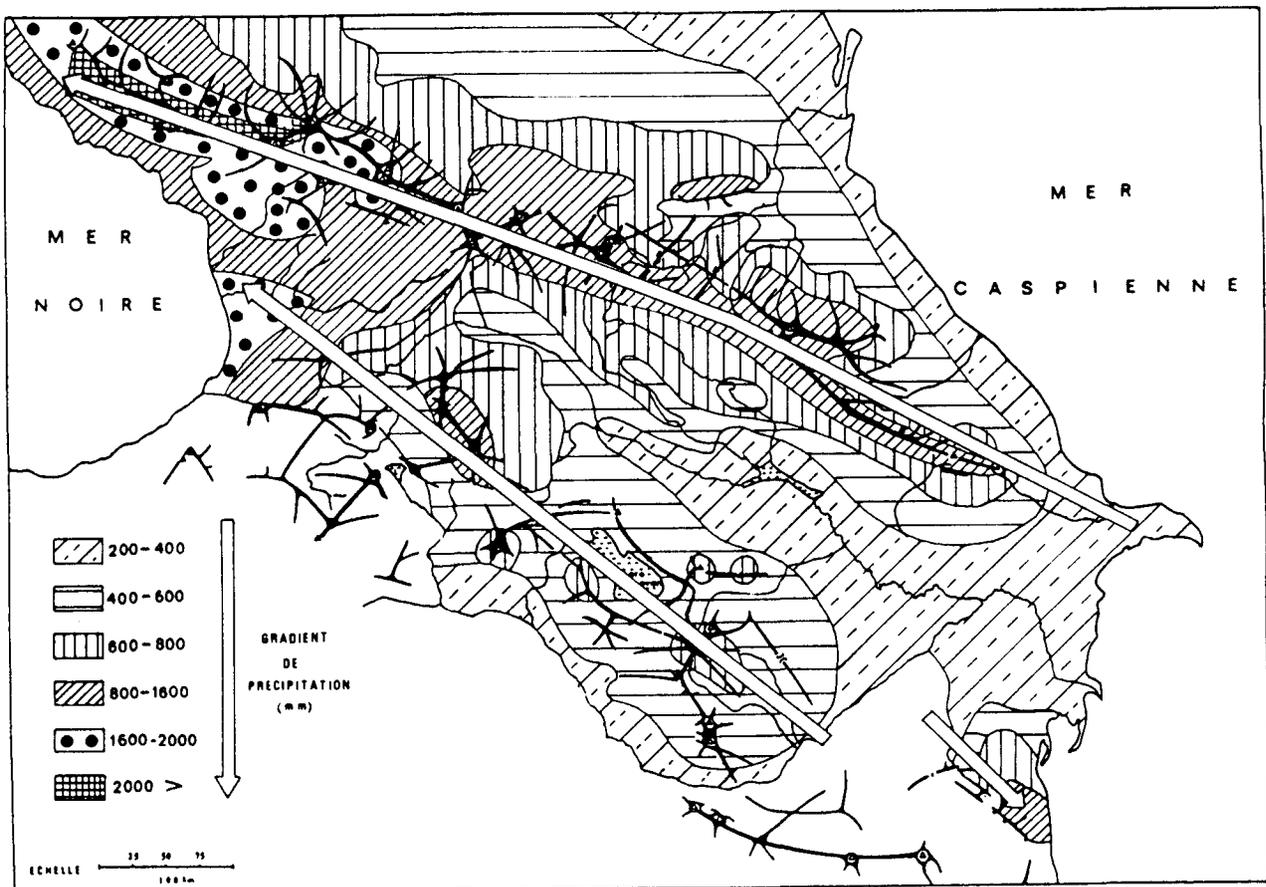


Fig. 4 : Carte des précipitations annuelles sur le Grand et le Petit Caucase (GERASIMOV, 1966, p. 86).

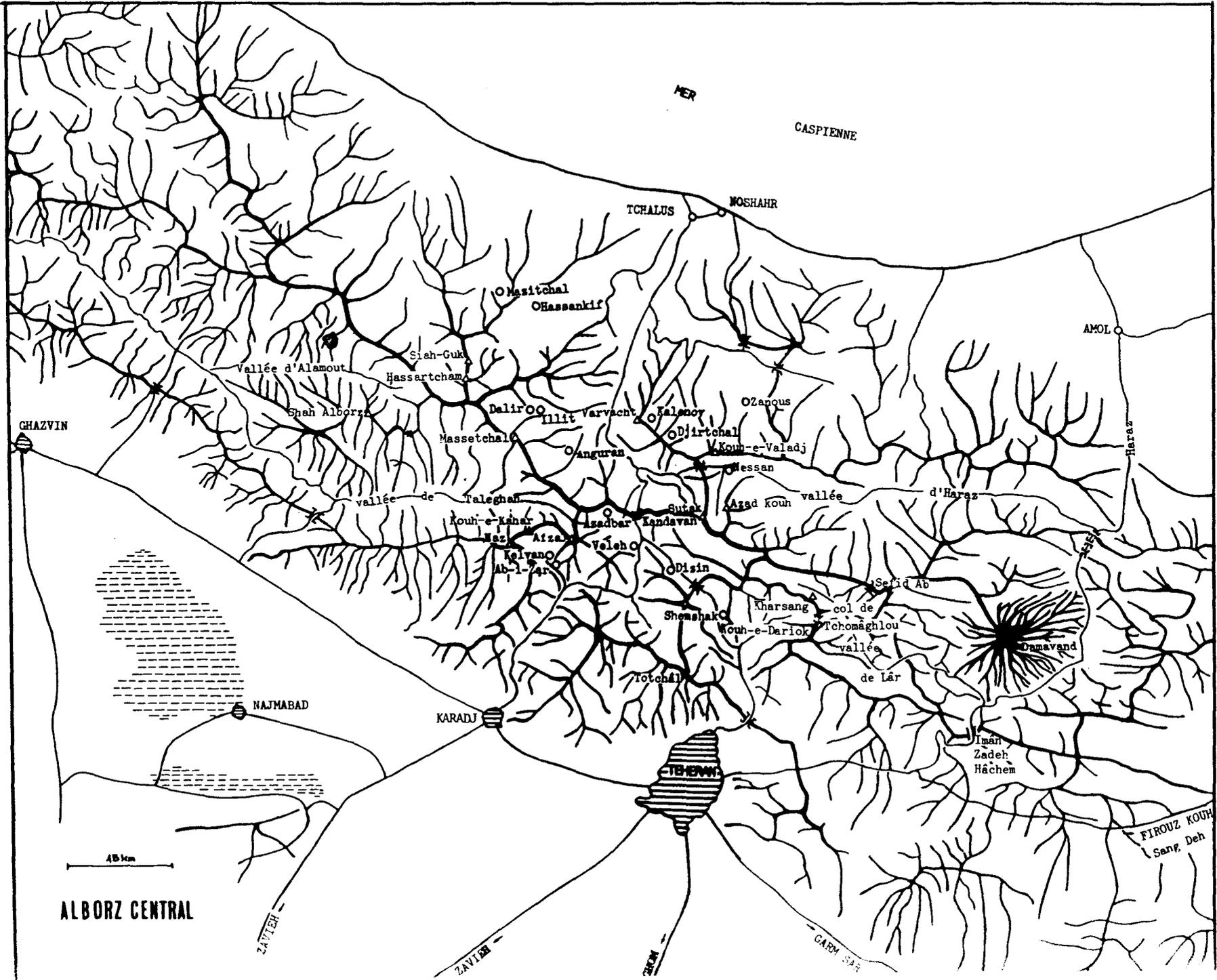


Fig. 5 : Carte de l'Alborz central.

sans cultivent pommes de terre, haricots, courges, concombres, maïs, luzerne, fourrage (*Setaria viridis*) et font pâturer une partie de leur bétail producteur de lait (ovins et bovins), le reste étant conduit en altitude par des bergers (EHLERS, 1973, p. 68 et 67).

Les données ont été soumises à l'Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C.). L'interprétation des cartes (fig. 6 et 7) conduit, au-delà de la discrimination des deux ensembles, forestier (I, 25 relevés) et de pelouses (II, 54 relevés), à la mise en évidence d'espèces qui leur sont propres. Celles-ci, bien que contribuant à l'individualisation des ensembles, ne sont pas évidemment toutes assimilables à des "caractéristiques", en particulier divers taxons dont les flores<sup>5</sup> soulignent la large amplitude écologique. Cette restriction faite, il demeure un ensemble de 53 espèces dont la majorité est déjà pourvue d'un statut phytosociologique défini dans le cadre des forêts caducifoliées européennes (y compris des groupements de lisière ou de clairière, voire même à caractère nitrophile qui leur sont liés) et dans celui des forêts de Méditerranée orientale (AKMAN, BARBERO & QUEZEL, 1978), d'Anatolie septentrionale (id., 1980) et d'Hyrcanie (ASSADOLLAHI, 1980).

Il s'agit, par ordre de présence décroissante, de :

- pour les espèces arborées ou arbustives :

- 556 *Quercus macranthera* F. et M. (25)
- 007 *Acer hyrcanum* F. et M. ex Hohen. (25)
- 693 *Viburnum lantana* L. (21)
- 303 *Fraxinus excelsior* L. ssp. *coriariifolia* (Sch.) E. M. (20)
- 298 *Fagus orientalis* Lipsky (14)
- 635 *Sorbus aucuparia* L. (13)
- 427 *Lonicera caucasica* Pall. (9)
- 636 *Sorbus torminalis* (L.) Crantz (6)
- 006 *Acer campestre* L. (3)
- 008 *Acer platanoides* L. (3)
- 243 *Daphne pontica* L. (1)
- 784 *Ulmus minor* Miller (1)
- 164 *Carpinus betulus* L. (1)
- 293 *Evonymus latifolius* Scop. (1)

- pour les espèces herbacées :

- 078 *Asperula taurina* L. (24)
- 182 *Chaerophyllum aureum* L. (24)
- 525 *Poa nemoralis* L. (24)
- 696 *Vicia truncatula* Fischer ex M. B. (23)
- 147 *Calamintha grandiflora* (L.) Moench (23)
- 492 *Paeonia wittmanniana* Stev. (21)
- 258 *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (21)
- 155 *Cardamine impatiens* L. (20)
- 150 *Campanula latifolia* L. (20)
- 589 *Stellaria holostea* L. (20)
- 314 *Galium odoratum* (L.) Scop. (20)
- 773 *Polygonum orientale* Desf. (19)
- 302 *Fragaria vesca* L. (18)
- 413 *Lathyrus roseus* Stev. (18)
- 369 *Hypericum hirsutum* L. (17)
- 329 *Geum urbanum* L. (15)
- 407 *Lamium album* L. ssp. *crinitum* (Monb. et Auch.) Menn. (15)
- 622 *Sedum stoloniferum* Gmel. (15)
- 410 *Lapsana communis* L. ssp. *intermedia* (M. B.) Hayek (14)
- 324 *Geranium gracile* Ledeb. (13)
- 741 *Festuca drymeja* Mert. et Koch (13)

<sup>5</sup> BOISSIER (1867-1888), BORNMÜLLER (1905-1908), BORNMÜLLER et GAUBA (1935-1942), DAVIS (1965-1988), KOMAROV (1934-1960) et RECHINGER & al. (1963...).

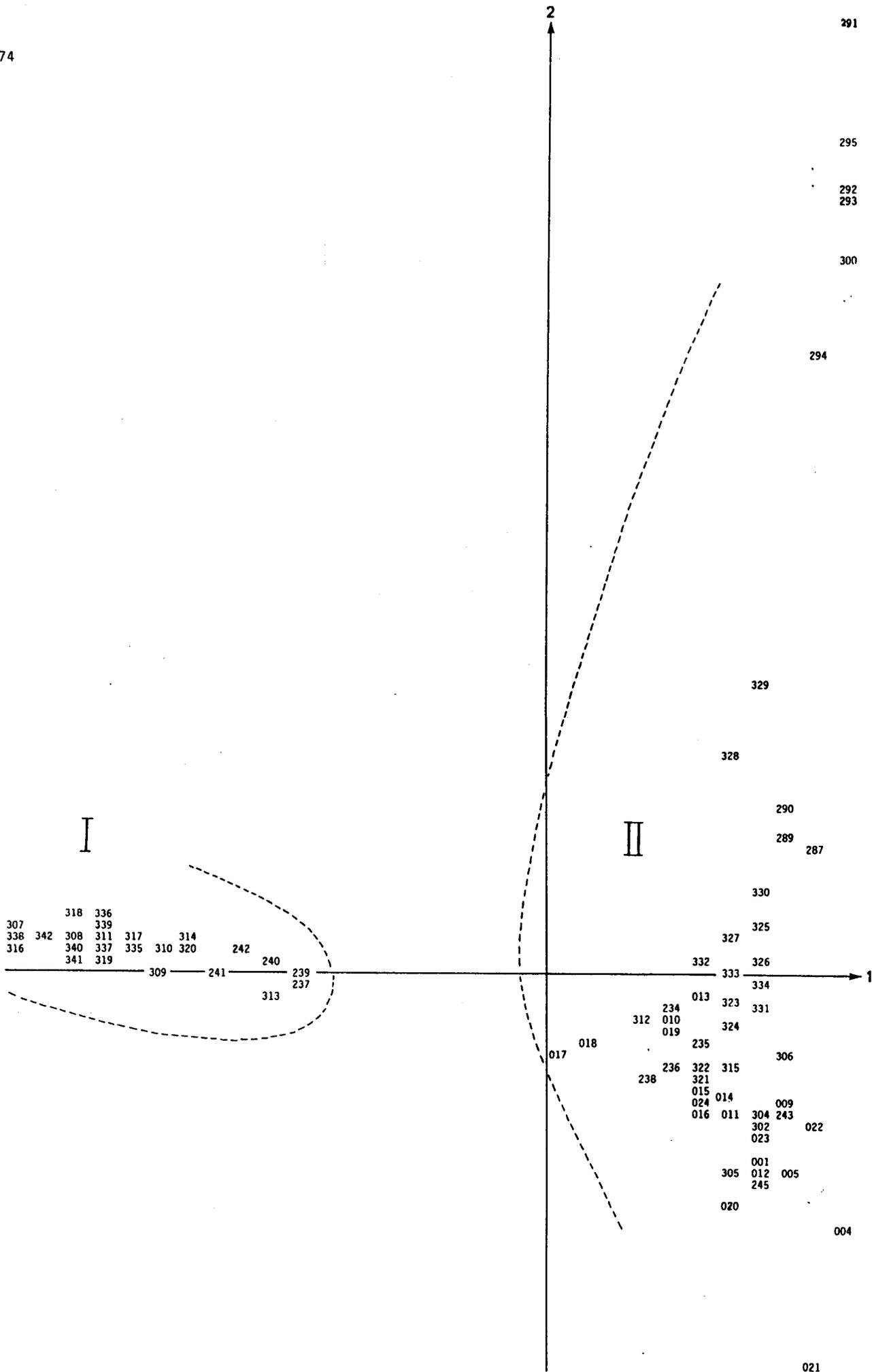
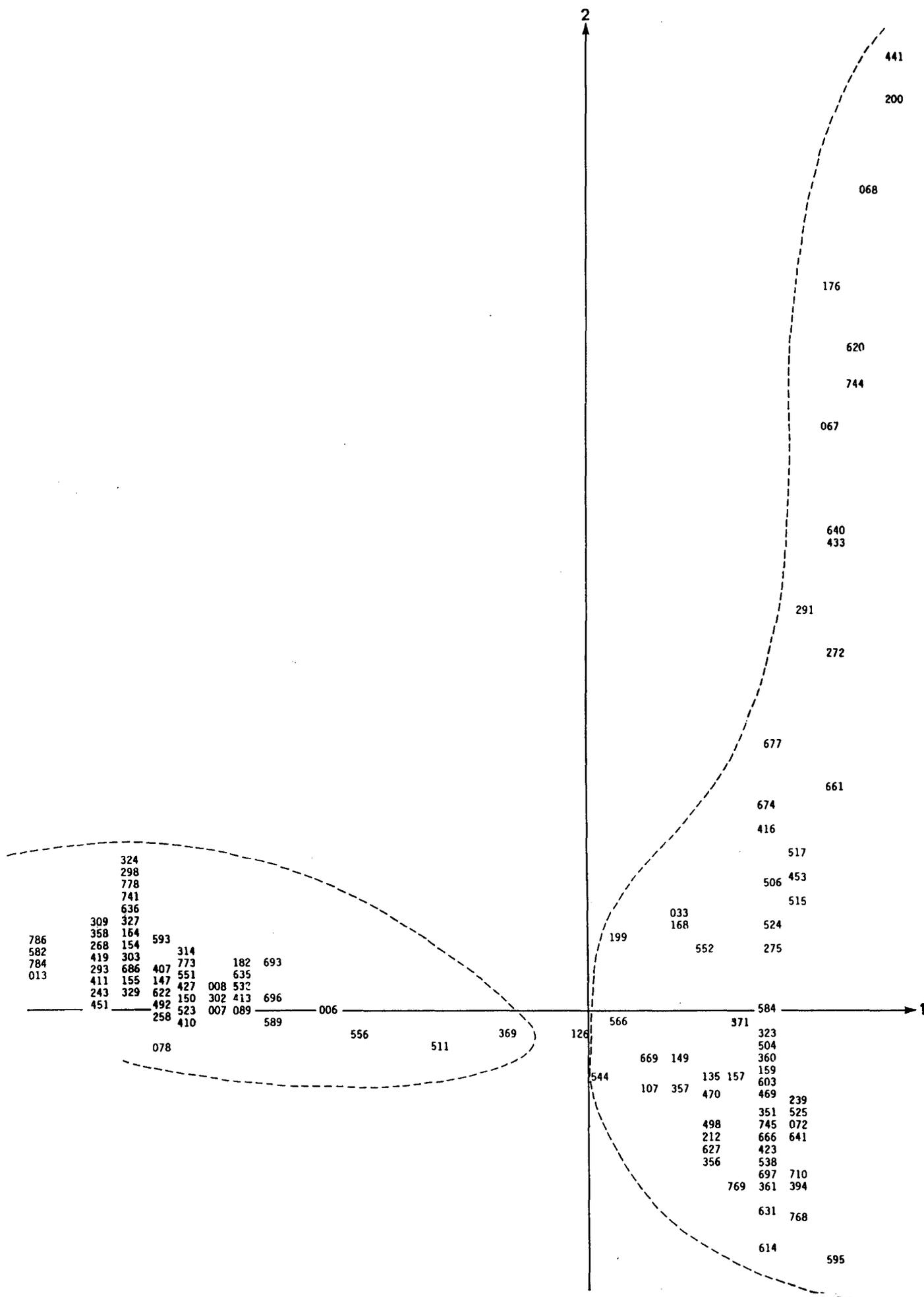


Fig. 6 : Analyse globale des groupements forestier (I) et de pelouses voisines (II) : carte des relevés selon les axes 1-2.



- 593 *Salvia glutinosa* L. (8)  
 551 *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz (8)  
 358 *Hesperis hyrcana* Bornm. et Gauba (8)  
 268 *Epilobium montanum* L. (7)  
 532 *Polystichum lobatum* (Huds.) Chevall. (6)  
 778 *Sanicula europaea* L. (6)  
 411 *Vicia crocea* (Desf.) Fedtschenko (6)  
 154 *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz (4)  
 309 *Galium aparine* L. (4)  
 419 *Lilium ledebourii* Boiss. (3)  
 686 *Valeriana alliariifolia* Adams in Webb. et Mohr. (3)  
 013 *Actaea spicata* L. (1)  
 327 *Geranium robertianum* L. (1)  
 582 *Rumex obtusifolius* L. (1)  
 786 *Urtica dioica* L. (1)  
 511 *Phuopsis stylosa* (Trin) Hook F. (1)  
 089 *Astragalus glycyphylloides* D. C. (1)  
 451 *Moehringia trinervia* (L.) Clairv. (1)

Le statut phytosociologique de ces divers taxons sera ultérieurement considéré.

## II.2. ENSEMBLE SPECIFIQUE DES QUERCO-FAGEA (Br.-Bl. et Vlieg., 1937) Fukarek et Fabijanic 1968 ET DES SYNTAXONS SUBORDONNES

### II.2.1. ESPECES DES QUERCO-FAGEA

#### II.2.1.1. BASES DE DEFINITION DES QUERCO-FAGEA

Pour classer les forêts d'Anatolie septentrionale et celles de la mer Caspienne, QUEZEL, BARBERO & AKMAN (1980) et ASSADOLLAHI (1980) ont utilisé le cadre d'une synsystème proposée en Bosnie-Herzégovine par Fukarek et Fabijanic (1968) à l'origine de la création de la superclasse austro-méditerranéenne des Querco-Fagetales, ou Querco-Fagea selon la nomenclature actuelle. Globalement, cette unité réunit pour l'essentiel les Fagetalia Pawl. 1928, les Prunetalia Tüxen 1952, les Quercetalia pubescenti-petraeae Br.-Bl. 1931 et les Populetalia albae Br.-Bl. 1931. Exclues des Querco-Fagea, les Quercetea robori-petraeae Br.-Bl. & Tx 1943 sont, dans cette conception, rattachés aux Querco-Piceea Kuk. & Fabij. 1968, occidentaux et boréo-européens.

Les Querco-Fagea ainsi conçus permettent de "réunir les structures phytosociologiques caractéristiques essentiellement des forêts caducifoliées des étages collinéen et montagnard en région euro-sibérienne, ou supra-méditerranéen, en région méditerranéenne, mais aussi un certain nombre de celles qui se constituent dans les forêts de conifères, surtout au collinéen en région euro-sibérienne mais au supra-méditerranéen aussi bien qu'au montagnard méditerranéen en région méditerranéenne" (QUEZEL & al., 1980, p. 380).

Selon ces mêmes auteurs (id., 1980, p. 380 et 381 et tabl. 11, p. 437), cette superclasse se caractériserait par une trentaine d'espèces. Il est à noter que celles-ci, à quelques exceptions près, ont, en Europe, un statut phytosociologique déjà reconnu, permettant de les rapporter aux divers syntaxons suivants :

espèces des Querco-Fagetea Br.-Bl. et Vlieg. 1937

*Brachypodium sylvaticum*  
*Corylus avellana*  
*Hedera helix*

espèces des Fagetalia Pawl. 1928

*Campunula trachelium*  
*Helleborine (= Epipactis) latifolia*  
*Primula vulgaris*  
*Epilobium montanum*  
*Melica uniflora* (caractéristique des Querco-Fagetea selon Muller, 1978, p. 36)  
*Euphorbia amygdaloides* (id.)  
*Poa nemoralis* (id.)  
*Salvia glutinosa* (id.)

espèce du Carpinion (Issl. 1931) Oberdorf. 1953 :

*Cerasus avium*

Alno-Ulmion Br.-Bl. et Tx. 1943 : espèce du Querco-Ulmetum Issl. 1924 :

*Ulmus campestris*

Prunetalia Tx 1952 : espèce du Berberidion Br.-Bl. 1950 :

*Viburnum lantana*

espèces des Artemisietea Lohm., Tx et Prsg. in Tx. 1950 (ou des Galio-Urticetea Pass. 1967 em. Kop) et de l'Alliarion (Oberd. 1957) 1962 :

*Lapsana communis*  
*Lamium maculatum*  
*Geum urbanum*

Trifolio-Geranietea sanguinei Müll. 1961 : espèce des Origanetalia vulgaris Müll. 1961 :

*Clinopodium vulgare*

espèce des Epilobietea angustifolii Tüx. & Prsg. in Tüx 1950 :

*Fragaria vesca*

espèce des Molinio-Arrhenatheretea Tüx 1937 :

*Vicia cracca*

Festuco-Brometea Br.-Bl. et Tx. 1943 : espèce du Mesobromion erecti Br.-Bl. & Moor 1938 :

*Campanula glomerata* (selon ROYER, 1987, p. 317)

espèces sans statut phytosociologique strict ou déjà établi :

*Betonica officinalis*, *Veronica chamaedrys*, *Platanthera bifolia*, *Teucrium chamaedrys* et *Luzula forsteri*, compagne forestière (Quercion robori-petraeae (Malc. 1929) Br.-Bl. 1931, Carpinion), *Milium vernale*, *Valeriana alliariifolia*.

Sans négliger l'hypothèse que ces diverses espèces soient représentées dans les forêts euxino-hyrcaniennes, donc de statut éventuellement différent, une telle liste appelle les remarques suivantes :

- la présence massive d'espèces des Querco-Fagetea et d'unités subordonnées de rang varié ne peut évidemment surprendre. Toutefois, leur choix en tant que caractéristiques des Querco-Fagea implique évidemment des remaniements à divers niveaux syntaxonomiques ; ils ne peuvent être discutés ici, en l'absence d'une synthèse statistique faisant appel à des données réparties sur l'ensemble de l'aire des Querco-Fagea.

- le recours à des espèces de lisières forestières, nitrophiles (Alliarion) ou thermophiles (Trifolio-Geranietea), et de clairière (Epilobietea) peut prêter à discussion. Outre le problème non résolu du changement consécutif de statut phytosociologique, un tel choix masque en effet l'existence éventuelle de tels groupements satellites des syntaxons forestiers en Anatolie et en Iran.

- Enfin, le choix de transgressives venues des prairies ou des pelouses voisines (*Vicia cracca*, *Campanula glomerata*<sup>6</sup>) ou d'espèces connues par ailleurs pour leur large amplitude écologique (*Betonica officinalis*, *Veronica chamaedrys*, *Platanthera bifolia*, *Teucrium chamaedrys*) n'est pas vraiment satisfaisant.

#### II.2.1.2. APPLICATION A LA CHENAIE DE L'ALBORZ CENTRAL

En définitive, compte tenu de l'analyse précédente, il n'est possible de retenir parmi la liste des taxons liés à la chênaie de l'Alborz que trois espèces tout au plus sur l'ensemble des caractéristiques des Quercu-Fagea proposées : *Poa nemoralis*, *Salvia glutinosa* et *Valeriana alliariifolia*.

Toutefois, dans la conception de la superclasse, il faudrait ajouter à ces taxons, en tant que transgressives, des espèces des Quercetea pubescentis (Oberd. 1948) Doing Kraft 1955 : *Sorbus torminalis* (QUEZEL & al., 1980, p. 381), *Acer campestre* (id.) et *Evonymus latifolius* (id.). D'autres proviennent d'unités subordonnées à cette classe, comme les Quercu-Carpinetalia orientalis Quézel, Barbéro & Akman 1980 (*Tanacetum parthenium*, *Astragalus glycyphylloides* (QUEZEL & al., 1980, p. 382)), le Carpino-Acerion Quézel, Barbéro & Akman 1978, (*Acer hyrcanum*, *Vicia truncatula*, *Lonicera caucasica* (id., p. 382)), le Carpino-Quercion macrantherae Assadollahi 1980 (*Quercus macranthera*) (id., tabl. 4) et le Buxo-Staphyllion Quézel, Barbéro & Akman 1980 (*Acer platanoides* (id., p. 383)).

Mais, parmi cette liste<sup>7</sup>, certaines espèces ne semblent pas logiquement pouvoir être retenues, même en tant que transgressives, comme caractéristiques des Quercu-Fagea. C'est le cas d'*Acer campestre* et *A. platanoides* qui doivent être maintenues comme caractéristiques des Quercu-Fagetea et non des Quercetea pubescentis.

De même, *Tanacetum parthenium* est par ailleurs considérée comme caractéristique des Sisymbrietalia J. Tx. 1962, ordre réunissant les groupements rudéraux plus ou moins nitrophiles (Stellarietea mediae (Tx. 1950) Lacourt 1977).

C'est "presque une cosmopolite en partie cultivée et spontanée" (PODLECH, in RECHINGER, 1986, p. 99-100), "largement répandue dans les hémisphères nord et sud de l'ancien et du nouveau monde" (DAVIS, 2, 1975, p. 268). Elle serait donc plus logiquement à considérer parmi les compagnes.

Enfin, *Astragalus glycyphylloides* (considérée par CHAMBERLAIN (in DAVIS, 1970, 3, p. 96) comme une sous-espèce d'*Astragalus glycyphyllos*), rencontrée du nord de l'Iran aux Balkans, en passant par le Caucase, la Crimée et l'Anatolie surtout septentrionale, apparaît plutôt comme caractéristique des Origanetalia (Trifolio-Geranietea).

Par contre, les autres espèces citées peuvent effectivement être considérées comme transgressives des Quercetea pubescentis. Outre *Quercus macranthera*, dont la chorologie a déjà été précisée, il s'agit de :

- *Sorbus torminalis*, qui possède une aire s'étendant sur "le sud, l'ouest et le centre de l'Europe, le

<sup>6</sup> à titre indicatif, dans l'Alborz, cette espèce est mieux représentée dans les pelouses (23/54) que dans la chênaie (4/25).

<sup>7</sup> QUEZEL & al. (1980, p. 381) et ASSADOLLAHI (1980, p. 47) y ajoutent *Brachypodium pinnatum* et *Cotoneaster racemiflora* mais, dans le groupement de l'Alborz, ces espèces apparaissent plutôt comme compagnes, leur fréquence étant supérieure dans les pelouses voisines (22/54 et 14/54).

nord-ouest de l'Afrique, le Caucase et la partie occidentale du sud-ouest asiatique" (BROWICZ, 1982, 1, p. 53).

- *Evonymus latifolius*, connue de l'Afrique du nord, des montagnes de l'Europe du sud, du Taurus, du Caucase, de l'Anatolie et de la Perse septentrionale.

- *Lonicera caucasica*, signalée du Caucase et du nord-ouest de l'Iran jusqu'en Anatolie orientale.

- *Acer hyrcanum*, qui possède une distribution voisine, s'étendant de la péninsule balkanique et l'Anatolie nord-orientale jusqu'au Caucase et en Perse septentrionale.

- *Vicia truncatula*, dont l'aire s'étend de l'Europe austro-orientale (Bulgarie, Roumanie, Yougoslavie) à l'Asie austro-occidentale (Anatolie, Arménie soviétique, Caucase).

### II.3. ESPECES DES QUERCO-FAGETEA (Br.-Bl. et Vlieg, 1937) em. Fuk. et Fabij. 1968

Dans l'ensemble forestier préalablement discriminé, apparaissent diverses caractéristiques des Quercu-Fagetea : *Asperula taurina* (QUEZEL & al., 1980, p. 422), souvent rencontrée en Europe dans le Tilio-Acerion Klika 1955 et le Carpinion (OBERDORFER, 1979, p. 730), et, plus classiquement, *Dryopteris filix-mas*, *Fraxinus excelsior*, *Sorbus aucuparia*, ainsi que, comme souligné précédemment, *Acer campestre* et *A. platanoides*. Pour QUEZEL, BARBERO & AKMAN, 1980 (p. 383), les forêts d'Anatolie septentrionale "situées nettement en retrait de la zone euxinienne et plus spécialement dans ce que nous définirons plus loin comme la zone pré-pontique", s'intègrent aux Fagetalia sylvaticae Pawl. 1928 em. Fukar. et Fabij. 1968 ; par contre, à "la quasi totalité des formations forestières localisées à l'étage collinéen euxinien, formations à peu près exclusivement caducifoliées" (id., p. 384) "correspond un ordre distinct, celui des Rhododendro-Fagetalia orientalis"<sup>8</sup>.

C'est dans ce syntaxon qu'ASSADOLLAHI (1980) place les hêtraies de l'Alborz occidental, situées sous l'influence climatique de la mer Caspienne. En conséquence, les espèces des Fagetalia, des unités subordonnées et des Prunetalia, présentes dans ces groupements, sont, à titre de transgressives, considérées également comme caractéristiques des Quercu-Fagetea (Br.-Bl. et Vlieg. 1937) Fuk. et Fabij. 1968.

Telles sont : *Cardamine impatiens*, *Galium odoratum*, *Epilobium montanum*, *Sanicula europaea*, *Moehringia trinervia* (Fagetalia), *Calamintha grandiflora*, *Cardamine bulbifera* et *Actaea spicata* (Fagion), *Campanula latifolia* et *Polystichum lobatum* (Tilio-Acerion), *Stellaria holostea* et *Carpinus Betulus* (Carpinion), *Ulmus minor* (Alno-Ulmion), *Viburnum lantana* (Prunetalia).

#### II.3.1. ESPECES DES RHODODENDRO-FAGETALIA ORIENTALIS Quézel, Barbéro & Akman 1980

Outre "la quasi totalité des formations forestières à l'étage collinéen euxinien" (QUEZEL & al., 1980, p. 384), les Rhododendro-Fagetalia orientalis regrouperaient également "du bord de la mer à 2.000 m d'altitude environ, la majeure partie des forêts" caducifoliées hyrcaniennes (ASSADOLLAHI, 1980, p. 48).

*Polygonatum orientale* (= *P. polyanthemum*) (ASSADOLLAHI, 1980, tab. 12, 13, 14), *Lathyrus roseus* (id., tab. 11), *Fagus orientalis* (QUEZEL & al., 1980, p. 385), *Festuca drymeja* (= *F. montana* M. B.) (id.), *Daphne pontica* (id.), *Phuopsis stylosa* (ASSADOLLAHI, id., tab. 12) et deux transgressives des Pino-

<sup>8</sup> Un second ordre, celui des Pino-Piceetalia orientalis est essentiellement montagnard.

*Piceetalia orientalis*, *Sedum stoloniferum* (id., p. 41 et tab. 14) et *Geranium gracile*, caractériseraient l'ordre<sup>9</sup>.

Toutes ces espèces sont des hyrcano-euxines, (*Phuopsis stylosa* étant plus précisément une hyrcanienne stricte localisée au Talish, Gilan, Mazandéran), à l'exception de l'euro-sibérienne *Festuca drymeja*. Cette dernière se rencontre des montagnes de l'Europe centrale et orientale à celles du Caucase et de l'Iran septentrional.

- *Polygonatum orientale* est connue de la Crimée, du Caucase, du nord-ouest et du nord de l'Iran.

- *Lathyrus roseus* est signalée du Taurus, de l'Anatolie boréale et orientale, du Caucase, de la Transcaucasie et de la Perse septentrionale.

- *Fagus orientalis* se rencontre tout au long des côtes septentrionales de la mer Egée, méridionale et orientale de la mer Noire, dans le nord et le centre des montagnes de l'Amanus, ouvertes sur la Méditerranée, au Caucase, en Transcaucasie et sur le flanc nord de l'Alborz tourné vers la mer Caspienne. Il s'hybride par introgression avec *Fagus sylvatica* L. dans la zone balkanique (Bulgarie, Roumanie, Grèce, Yougoslavie et Albanie) (BROWICZ, 1982, 1, p. 32, carte 49, p. 118).

- *Daphne pontica* est signalée sur le pourtour de la mer Noire, du sud-est de la Bulgarie à la Georgie en passant par le nord de la Turquie, et dans le nord de l'Iran (DAVIS, 1982, 7, p. 523).

- *Sedum stoloniferum* et *Geranium gracile* sont connues de l'Anatolie, du Talish et du Caucase.

### II.3.2. ESPECES DU RUBO-FAGION ORIENTALIS Assadollahi 1980

*Paeonia wittmanniana* et *Vicia crocea* (= *V. aurantia*) caractérisent cette alliance "réunissant l'ensemble des hêtraies de la région hyrcanienne occidentale qui s'étendent entre 400 / 800 et 2.200 / 2.300 m d'altitude, aussi bien aux expositions sud qu'aux expositions nord" (ASSADOLLAHI, id., p. 44).

*Paeonia wittmanniana* est rencontrée entre 1.100 et 2.700 m dans le Caucase et en Perse septentrionale, *Vicia crocea* entre 700 et 1.900 m en Anatolie, essentiellement septentrionale, Perse septentrionale, Transcaucasie et dans le Talish. Ces deux espèces, d'habitat surtout forestier, sont également des hyrcano-euxines.

### II.4. ENSEMBLES REPRESENTATIFS D'AUTRES UNITES SYNTAXONOMIQUES

Le groupement à *Quercus macranthera* de l'Alborz central s'avère abriter un lot assez significatif d'espèces nitrophiles<sup>10</sup> des *Artemisietea vulgaris* Lohm., Tx. et Prsg in Tx. 1950 (ou, selon la synsystème adoptée, des *Galio-Urticetea* Pass. 1967 em. Kop). En effet, *Lamium album*, *Lapsana communis*, *Galium aparine*, *Urtica dioica* et *Rumex obtusifolius*, y caractérisent cette classe. Il s'y ajoute trois autres taxons, relevant plus particulièrement de l'*Alliarion* (Oberd. 1957) 1962, syntaxon des lisières nitrophiles et sciaphiles des *Querco-Fagetea*: *Chaerophyllum aureum*, *Geum urbanum* et *Geranium robertianum*.

<sup>9</sup> ASSADOLLAHI (1980, p. 41 et 42) y distingue deux sous-ordres : les *Rhododendro-Fagenetalia orientalis*, euxiniens, avec, dans le groupement de l'Alborz, *Daphne pontica*, et les *Illico-Fagenetalia orientalis*, représentés par *Vicia aurantia* (= *V. crocea*) et *Centaurea hyrcana*. Cette dernière, beaucoup plus fréquente dans les pelouses (14/25) que dans le groupement forestier (3/54), ne peut être retenue. Faute de caractéristiques en nombre suffisant et réellement propres à l'une des sous-unités, cette subdivision ne peut être envisagée pour l'Alborz.

<sup>10</sup> outre le *Tanacetum parthenium* cité antérieurement.

Un certain nombre d'espèces relèvent d'autres syntaxons satellites des groupements forestiers, tels que les Epilobietea (coupes et clairières dans les Quercu-Fagetea), représentés par *Fragaria vesca* et *Hypericum hirsutum*, et les Trifolio-Geranietaea (groupements thermophiles mésoxérophiles en lisière du Quercion pubescenti-petraeae Br.-Bl. 1931), avec *Astragalus glycyphylloides*<sup>11</sup>.

## II.5 POSITION SYNTAXONOMIQUE DE LA CHENAIE DE L'ALBORZ CENTRAL

### II.5.1. CARACTERISATION

Compte tenu de l'analyse de sa composition spécifique, le groupement à *Quercus macranthera* de l'Alborz central s'intégrerait successivement aux unités suivantes, si l'on s'en tient à la syntaxonomie proposée par QUEZEL, BARBERO & AKMAN (1980), ainsi qu'ASSADOLLAHI (1980), pour la région euxino-hyrcanienne : Quercu-Fagea, Quercu-Fagetea, Rhododendro-Fagetalia orientalis et Rubo-Fagion orientalis. Toujours dans cette même conception, cet ensemble syntaxonomique y serait représenté par 41 caractéristiques, représentant la grande majorité des espèces (41 / 53) de la liste mentionnée initialement (II.1.). Nous nous en tiendrons provisoirement à un tel statut, dans la mesure où de nouvelles unités, *a priori* justifiées et certainement mieux appropriées, ne peuvent actuellement être correctement définies en l'absence de données phytosociologiques suffisantes, tant sur l'ensemble du massif de l'Alborz qu'au niveau des chaînes limitrophes (Caucase et Transcaucasie). Il apparaît toutefois évident que la distinction d'une seule et même alliance, et même d'un seul ordre, pour des types de communautés forestières s'échelonnant de 400 à 2.800 m ne peut évidemment refléter la réalité bioclimatique, biogéographique et phytosociologique correspondant à un tel étagement !

Cependant, au-delà de ce rattachement syntaxonomique, un ensemble d'espèces permet de conférer à la chênaie de l'Alborz une valeur d'association caractérisée. Outre *Quercus macranthera* lui-même, il s'agit de :

*Acer hyrcanum*  
*Lonicera caucasica*  
*Hesperis hyrcana*  
*Lilium ledebourii*

Ces caractéristiques, à valeur territoriale, comprennent deux transgressives du Carpino-Acerion (*Acer hyrcanum*, *Lonicera caucasica*) et deux taxons à distribution typiquement hyrcanienne (*Hesperis hyrcana* et *Lilium ledebourii*). Cet Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae ass. nov. correspondrait vraisemblablement au "Quercetum macrantherae" observé par DJAZIREI (1964, p. 93) dans l'Alborz central, mais dont n'est fournie qu'une liste sommaire des espèces ligneuses les plus courantes, "suivant les conditions" (id., p. 70).

### II.5.2. SOUS-UNITES DE L'ACERI HYRCANI-QUERCETUM MACRANTHERAE

L'examen de la carte d'analyse partielle relative aux seuls relevés forestiers (fig. 8) permet de reconnaître au sein de l'Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae trois sous-unités nettement distinctes, à valeur de sous-associations, se discriminant par des lots différentiels respectifs (cf. tabl.). Elles s'avèrent correspondre à des variations significatives des conditions stationnelles, en particulier du point de vue

<sup>11</sup> Il faudrait y ajouter *Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv. (126) (BOULLET, 1986, p. 63), *Clinopodium vulgare* L. (199) et *Bupleurum falcatum* (135), si ces espèces n'étaient également ou davantage représentées dans les pelouses (respectivement 22/54, 15/54, 23/54.), comme le montre le diagramme-espèces (fig. 6).

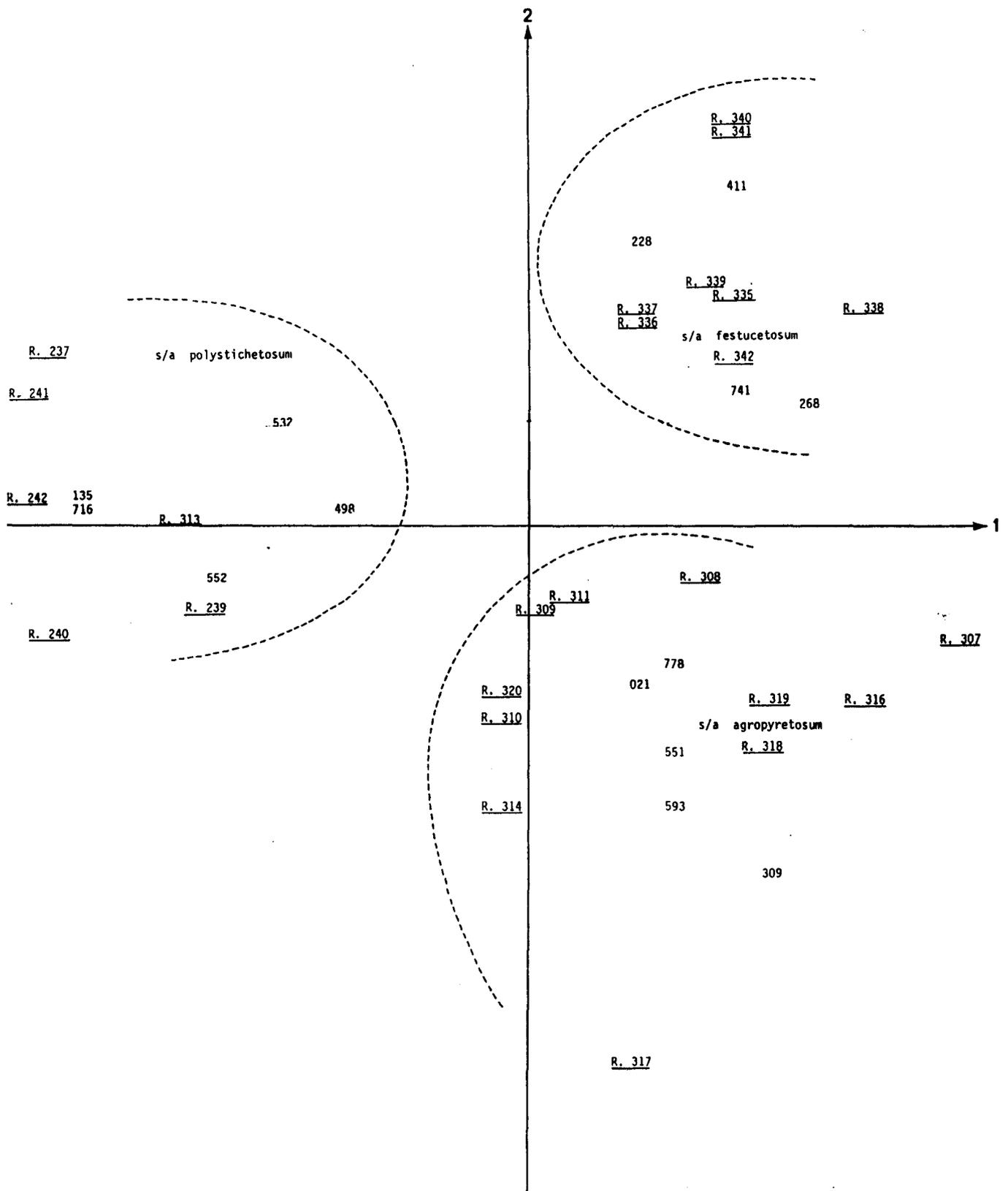


Fig. 8 Analyse partielle de l'Aceri hircani-Quercetum macrantheras : carte des relevés et des espèces selon les axes 1-2 (avec figuration des seules différentielles).

ACERI HYRCANI-QUERCETUM MACRANTHERAE *ass. nov. (typ. nov. : rel. 310,319,240)*

Sous-association :		Festucetosum (therophile)								agropyretosum (mesophile)								polystichetosum (orophile)								
No relevé : Localité : (Djir.-Djirtchal, Kale.-Kalenov) Altitude (n. m.) : Exposition : Pente (°) : Surface (m <sup>2</sup> ) : Recouvrement arboré-arbustif (%) : Recouvrement herbacé (%) :	No relevé :	338	342	335	341	340	339	336	337	307	316	319	318	308	317	311	309	320	310	314	239	313	240	237	242	241
	Localité :	Kale.	Kale.	Kale.	Kale.	Kale.	Kale.	Kale.	Kale.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.	Djir.
	Altitude :	2370	2410	2670	2520	2600	2670	2650	2600	2700	2670	2650	2620	2680	2640	2760	2670	2620	2670	2700	2850	2830	2100	2760	2770	2850
	Exposition :	N	N	N-NE	N	N-NE	NE	N-NE	NE	N-NE	N	N-E	N-E	N-E	N-NE	N-NE	N	N-NE	N-E	N-E	N-E	N-E	N	N	N-NE	N-E
	Pente (°) :	40	35	33	43	38	40	24	34	36	30	33	45	35	40	30	35	30	35	30	42	30	38	53	25	36
	Surface (m <sup>2</sup> ) :	300	100	70	80	150	85	80	90	20	60	120	60	80	210	60	70	80	70	100	60	30	50	100	60	50
Recouvrement arboré-arbustif (%) :	80	70	40	90	75	60	85	65	80.	75	15	10	20	15	85	70	40	75	10	60	60	85	100	70	80	
Recouvrement herbacé (%) :	45	60	45	60	40	40	35	45	quelq.	80	75	90	70	90	70	100	75	95	100	75	90	65	30	60	70	
Différentielles (s/ass. Festucetosum) :																										
13 52 741	<i>Pestuca drymeja</i> Mert. & Koch	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
9 36 228	<i>Cryptopsis fragilis</i> (L.) Scribn.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
7 28 260	<i>Diplobasis montana</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 24 411	<i>Ficula crocea</i> (Desf.) B. Fedtschenko	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Différentielles (s/ass. agropyretosum) :																										
9 36 21	<i>Agropyron longearistatum</i> (Boiss.) Boiss.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8 32 551	<i>Taraxacum parthenium</i> (L.) Scheuch.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8 32 593	<i>Salvia glutinosa</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 24 778	<i>Ranunculus acris</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 16 389	<i>Galium aparine</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Différentielles (s/ass. polystichetosum) :																										
8 32 552	<i>Taraxacum coccineum</i> (Willd.) Griec. subsp. <i>coccineum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 24 532	<i>Polystichum lobatum</i> (Huds.) Chevall.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 24 716	<i>Stemona italica</i> (L.) Pers.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5 20 498	<i>Podularia sibthorpii</i> Boiss.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4 16 135	<i>Dupleurum falcatum</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Caractéristiques des Rhododendro-Quercetalia et du Subo-Quercetum orientalis :																										
21 84 492	<i>Paeonia moutanensis</i> Stev.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
19 76 773	<i>Polygonatum orientale</i> Desf.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
18 72 413	<i>Lathyrus roseus</i> Stev.	+	+	+	3-3	+	+	+	+	+	+	+	1-1	3-3	1-1	+	3-3	2-2	1-1	2-2	+	+	+	+	+	+
15 68 622	<i>Sedum stoloniferum</i> Smol.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
14 56 298	<i>Papua orientalis</i> Lipshy	+	+	+	3-3	+	3-3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
13 52 324	<i>Geranium gracile</i> Ledeb.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 511	<i>Phacelia stylosa</i> (Vrba) Hook f.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 243	<i>Daphne ponicica</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Caractéristiques des Quercetalia et unités subordonnées :																										
23 92 147	<i>Callianthe grandiflora</i> (L.) Moench.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20 80 549	<i>Stellaria holostea</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20 80 155	<i>Cardamine impatiens</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20 80 314	<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20 80 150	<i>Campylosiphium latifolium</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4 16 154	<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 451	<i>Monarda triseriata</i> Clairv.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 13	<i>Actaea spicata</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 164	<i>Carpinus betulus</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1 4 744	<i>Ulmus minor</i> Miller	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Caractéristiques des Quercetalia et des Quercetalia :																										
24 96 523	<i>Poa nemoralis</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
24 96 78	<i>Asperula lanata</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
21 84 258	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
21 84 693	<i>Viburnum lantana</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20 80 303	<i>Prunus avellana</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
13 52 635	<i>Borhus aucuparia</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 12 646	<i>Valeriana allardii</i> Adans in W. & N.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 12 6	<i>Acer campestre</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 12 8	<i>Acer platanoides</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	



thermique et hydrique, ces unités s'échelonnant en altitude et se développant sous des expositions différentes.

La sous-association festucetosum est définie par *Festuca drymeja* (Rhododendro-Fagetalia orientalis), *Epilobium montanum* (Fagetalia) et *Vicia crocea* (Rubo-Fagion orientalis). On peut y ajouter *Cystopteris fragilis*, mais cette dernière espèce, caractéristique des Asplenieta rupestris, témoigne évidemment du caractère rocheux des pentes correspondantes (vallée de Kalenov). Définie par les relevés des stations les plus basses (2.570 m en moyenne) et localisée aux expositions nord-ouest, cette sous-association apparaît comme la plus thermophile du groupement.

La seconde unité, la sous-association agropyretosum, est principalement différenciée par *Agropyrum longe-aristatum*, une irano-turkestanienne, ainsi que par des sub-cosmopolites comme *Tanacetum parthenium* et *Galium aparine*, enfin par des euro-sibériennes comme *Salvia glutinosa* (Quercu-Fagea) et *Sanicula europaea* (Quercu-Fagea). Outre une localisation altitudinale moyenne légèrement plus élevée, elle doit son caractère plus mésophile à une orientation privilégiée aux expositions nord-est, lui permettant de recevoir de plein fouet les vents caspiens, frais et humides.

L'axe 2 de l'analyse factorielle, aux extrémités duquel s'opposent les relevés relatifs à ces deux sous-associations, traduit manifestement un tel gradient thermique et d'humidité.

Enfin, la sous-association polystichetosum, à laquelle correspondent les relevés les plus élevés (2.810 m en moyenne), peut être définie par *Polystichum lobatum*, espèce liée habituellement aux forêts de pente du Tilio-Acerion euro-sibérien, mais surtout par des transgressives de pelouses telles que *Tanacetum coccineum* et *Pedicularis sibthorpii* (hyrcano-euxines), ainsi que *Silene italica* (méditerranéenne) et *Bupleurum falcatum* (eurasiatique). Comparativement aux deux syntaxons précédents, cette sous-association apparaît donc comme une unité de transition vers les pelouses d'altitude du domaine euro-sibérien, développées entre 2.850 et 3.000 m. On peut y noter, en ce sens, la disparition significative d'espèces ligneuses telles que *Fagus orientalis*, *Sorbus torminalis* et *Lonicera caucasica*, dont la limite altitudinale supérieure paraît coïncider avec celle de la sous-association précédente (autour de 2.750 m).

L'axe 1 de l'analyse factorielle, en fonction duquel s'isole la sous-association polystichetosum, représente probablement un gradient altitudinal intégrant l'abaissement continu des précipitations et celui des températures.

### II.5.3. RELATIONS AVEC LES HÊTRAIES INFÉRIEURES

Ainsi défini et caractérisé, quel rapport l' Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae présente-t-il avec les hêtraies du Rubo-Fagion orientalis développées aux altitudes immédiatement inférieures ?

De ce point de vue, ASSADOLLAHI (1980) décrit dans le Talish, prolongement occidental de l'Alborz, un Carpino-Fagetum orientalis rassemblant les hêtraies d'adret, comprises entre 700 et 1.700 m, et un Ilici hyrcani-Fagetum des hêtraies d'ubac, entre 800 et 1.700 m, tous deux sur sol acide. Les caractéristiques retenues pour la première association sont des "espèces transgressives des Quercetea pubescentis qui n'apparaissent qu'exceptionnellement en versant nord" (ASSADOLLAHI, id., p. 59). Celles de la seconde sont "quasi absentes ou rares dans l'association précédente" (id., p. 61). Les fréquences de ces espèces sont comparées dans le tableau suivant :

Carpino-Fagetum orientalis      Ilici hyrcani-Fagetum  
(tabl. 11, 28 relevés)      (tabl. 12, 26 relevés)

Caractéristiques du  
Carpino-Fagetum orientalis :

<i>Carpinus orientalis</i>	14	9
<i>Sorbus torminalis</i>	10	5
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	9	3
<i>Crataegus monogyna</i>	8	7
<i>Mespilus germanica</i>	7	8
<i>Digitalis nervosa</i>	5	4

Caractéristiques de l'  
Ilici hyrcani-Fagetum :

<i>Ilex hyrcanum</i>	13	18
<i>Galium rotundifolium</i>	12	13
<i>Athyrium filix-mas</i>	6	6
<i>Carex digitata</i>	9	6
<i>Campanula latifolia</i>	3	6

Les caractéristiques présumées apparaissent donc simultanément présentes dans les deux associations, avec des différences de fréquence non statistiquement significatives ; il s'agirait donc en fait d'un seul et même syntaxon dont la définition pourrait tenir compte de l'ensemble des caractéristiques proposées. Mais celles-ci présentent déjà, pour la plupart, comme il a été vu précédemment, un statut phytosociologique précis ; c'est le cas de :

*Digitalis nervosa* (ASSAD., id., tab. 12, 13, 14) et *Carpinus orientalis* (QUEZEL & al., 1980, p. 382) (Quercus-Carpinetalia orientalis), *Ilex hyrcanum* (Rhododendro-Fagetalia orientalis), *Carex digitata* (Quercus-Fagetea), *Euphorbia amygdaloides* (Fagetalia sylvaticae), *Galium rotundifolium* (Galio-Abietion Oberd. 1962), *Campanula latifolia* (Tilio-Acerion), *Sorbus torminalis* (Quercetalia pubescenti-petraeae) et *Crataegus monogyna* (Prunetalia).

Restent sans affectation phytosociologique stricte : *Mespilus germanica*, le plus souvent rencontré dans les Prunetalia, ailleurs dans le Carpinion et le Quercion robori-petraeae, ainsi qu'*Athyrium filix-femina*, dans l'Alno-Ulmion.

Ces différentes espèces, à l'exclusion de *Sorbus torminalis* et de *Campanula latifolia* apparaissant également dans l'Aceri hyrcani-Quercetum macrantherae, peuvent donc jouer tout au plus un rôle de caractéristiques locales, ASSADOLLAHI (p. 59) les définissant d'ailleurs lui-même comme "différentielles".

### III. LA CHENAIE A *QUERCUS MACRANTHERA* DANS LES CHAINES LIMITROPHES

Le groupement à *Quercus macranthera* décrit dans l'Alborz central se retrouve dans les massifs voisins avec cependant, compte tenu de la variabilité climatique, des modifications plus ou moins marquées de la composition floristique et de la répartition altitudinale.

#### III.1. LA CHENAIE DANS LE TALISH, PROLONGEMENT OCCIDENTAL DE L'ALBORZ

Il n'existe aucune donnée sur la chénaie dans le Talish iranien, ASSADOLLAHI (id., p. 47) estimant même que "le *Quercus macranthera* n'est présent qu'en Hyrcanie orientale". Par contre, au niveau du Talish

soviétique (massif de Lenkoran), celui-ci s'avère relativement répandu. PRILIPKO (1954, p. 109) considère toutefois qu'il n'y forme jamais de groupement indépendant mais joue plutôt un rôle d'"accompagnateur" des chênaies à *Quercus iberica*, entre 1.200 et 1.600 m.

Cet auteur discerne l'étagement suivant (id., p. 30 et 37) :

- entre 1.200 et 1.600 m : à côté de cultures céréalières témoignant d'une anthropisation extrême, groupements isolés à *Fagus orientalis*, à *Fagus orientalis* et à *Carpinus caucasica* en exposition septentrionale, ainsi que chênaies à *Quercus iberica*, à *Q. castaneifolia* et en partie à *Q. macranthera*, en exposition plus sèche.

- entre 1.600 et 1.900 m : limite supérieure de la forêt avec, à l'état isolé, des formations d'arbrisseaux postforestiers et des groupements à *Fagus orientalis*.

Au contraire, GULISASHVILI (1956, p. 70 et 71), GULISASHVILI & al. (1975, p. 39), pour le même territoire reconnaissent, une individualité propre à la chênaie à *Quercus macranthera* à partir de 1.600 m, au-dessus de la forêt à *Fagus orientalis*, elle-même relayant celle à *Quercus castaneifolia* vers 1.000-1.200 m. Selon ces auteurs, cette forêt à *Quercus macranthera* comporterait également *Carpinus caucasicus*, *Fraxinus excelsior*, *Fagus orientalis*, *Acer campestre* et *A. platanoides*, *Sorbus aria*.

Les avis sur l'existence de la chênaie à *Quercus macranthera* dans ce secteur, en tant qu'unité de végétation proprement dite, sont donc contradictoires. Quel que soit le point de vue retenu, il semble toutefois que les conditions qui y règnent ne permettent qu'un développement limité et probablement fragmentaire de ce groupement :

- l'altitude maximale du massif (2.448 m) correspond à la limite inférieure (2.400 m) de l'étage à *Quercus macranthera* observé dans l'Alborz central.

- 200 à 300 mm de précipitations annuelles seulement (Atlas de l'Azerbaïdjan, 1963, p. 49) tombent sur ces crêtes, conditions semi-arides qui favorisent la descente des xérophytes en coussinet venus du versant sud-occidental iranien et observés parfois jusqu'à 1.900 m sur le flanc oriental.

- l'accès à ce petit massif, relativement aisé à l'homme et à ses troupeaux, facilite la déforestation et la dégradation d'un groupement déjà fragilisé, puisqu'à la limite inférieure de sa distribution.

### III.2. LA CHENAIE DANS L'ALBORZ ORIENTAL

Dans le contexte climatique à tendance continentale sèche qui caractérise ce secteur, se développe, à partir de 2.000 m, une très importante chênaie à *Quercus macranthera*, et ce au dépens de la hêtraie qui disparaît complètement à l'est du Ziarat (DOROSTKAR, 1974, p. 113). Il existe donc dans l'Alborz, selon les secteurs, un contraste majeur dans l'étagement forestier : le district occidental se caractérise, selon DOROSTKAR et NOIRFALISE (1976, p. 43), par "l'intercalation d'un puissant étage de hêtraie (700 / 800-2.300 / 2.400 m d'après DJAZIREI, 1965, p. 37)<sup>12</sup> entre l'étage submontagnard des chênaies-charmaies à *Quercus castaneifolia* et l'étage altimontain des chênaies à *Quercus macranthera*. Dans le district oriental (au contraire), il y a continuité entre les chênaies-charmaies submontagnardes, montagnardes et altimontaines. En gros, on peut y définir trois étages :

- un étage inférieur de chênaie-charmaie à *Quercus castaneifolia*, *Zelkova crenata* et *Parrotia persica* (50-350 / 1.000 m, DOROSTKAR et NOIRFALISE, 1976, p. 45)<sup>11</sup>.

- un étage supérieur de chênaie-charmaie à *Quercus castaneifolia* et érables (800-1.800 / 2.000, id., p. 45)<sup>11</sup>.

<sup>12</sup> indications altitudinales ajoutées à la citation.

- un étage altimontain à *Quercus macranthera* (2.000-2.600 m, *id.*, p. 50) <sup>11, 13</sup>.

En ce qui concerne cette dernière formation, qui nous intéresse plus particulièrement ici, les trois relevés effectués par DOROSTKAR (tableau VIII) sont pauvres (21 espèces) et "influencés par le climat steppique du versant iranien de la chaîne. Aussi leur cortège floristique est-il essentiellement xérophile" (*id.*, p. 51). De fait, les caractéristiques des *Quercetea pubescentis* (*Sorbus torminalis*, *Acer ibericum* M. B., ssp. d'*Acer monspessulanum*) et d'unités subordonnées, comme le *Querco-Carpinetalia orientalis* (*Carpinus orientalis* M. B.), le *Carpino-Acerion* (*Acer opalus* Mill. = *A. hyrcanum*) et le *Carpino-Quercion macrantherae* (*Quercus macranthera*), égalent ici largement en nombre celles des *Querco-Fagetea* <sup>14</sup> (*Brachypodium sylvaticum*, *Poa nemoralis*, *Asperula odorata* et *Carpinus betulus*), dont le représentant le plus insigne (*Fagus orientalis*) disparaît totalement. Notons également la présence significative de *Coronilla varia*, espèce caractéristique des ourlets thermophiles et mésoxérophiles des bois et des taillis du *Quercion pubescenti-petraeae* (*Trifolio-Geranietea*).

Enfin, à l'image de beaucoup d'autres groupements forestiers de l'Alborz oriental, cette chênaie est généralement installée sur des sols profonds, brun calcaire, à pH élevé (7 et plus), très argileux car établis sur des argiles de décarbonatation, à mull calcique, de type A/(B)/C<sub>ca</sub> (DOROSTKAR, 1974, annexe p. 11 et 95) ou encore sur sol brun rouge ferrialitique profond à réserve calcique de type A/(B)/C (*id.*, p. 17) à rouge de type A/B/R (*id.*, p. 17).

### III.3. LA CHENAIE DANS LE GRAND ET LE PETIT CAUCASE

Au niveau de ces massifs, le *Quercus macranthera* n'apparaît abondamment représenté que dans les zones orientales où il constitue l'ultime groupement forestier (PRILIPKO, 1954, p. 109), à des altitudes comprises entre 1.400 et 2.700 m et avec une amplitude très variable selon les régions considérées. Cependant, comme dans l'Alborz, on peut y reconnaître deux types bioclimatiquement distincts : l'un développé sous climat montagnard tempéré humide, l'autre sous tendance sèche continentale.

#### III.3.1. LA CHENAIE SOUS CLIMAT MONTAGNARD TEMPERE HUMIDE

Dans le Petit Caucase, la chênaie tempérée humide à *Quercus macranthera* se localise sur la bordure nord (Trialet) et nord-est (Dzhavakhet <sup>15</sup>, Pambak <sup>16</sup>, Shakhdag, Murovdag et Karabakh septentrional <sup>17</sup> du massif.

Dans le Grand Caucase, elle se rencontre sur le versant méridional (des sources du Liakhvi <sup>13</sup> à celles du Sumgait en passant par celles de l'Alazan et du Geokchai <sup>15</sup>) et sur le versant septentrional du Daghestan oriental aux sources du Sumgait, en Azerbaïdjan.

Elle y succède à la hêtraie à partir de 2.000 m d'altitude, cette dernière remplaçant la chênaie à *Quercus iberica*. Elle occupe un étage altitudinal de quelques centaines de mètres (2.000 / 2.100-2.350 / 2.400 m, de la vallée de l'Alazan à celle de Geokchai (province de l'Alazan Avtoran), 2.200 / 2.300-2.400 / 2.500 m, à l'est de la vallée de Geokchai (province de Shirvan), dont l'individualité est parfois

<sup>13</sup> ASSADOLLAHI, 1982 & *al.* (p. 398) considèrent ces étages supérieur et altimontain comme montagnard s.l.

<sup>14</sup> Alors que, dans la chênaie de l'Alborz central, ces dernières, comptabilisées de la classe à l'alliance, sont largement majoritaires (31/6).

<sup>15</sup> carte de KESTSKHOVELI.

<sup>16</sup> Atlas d'Arménie 1961, carte de végétation, p. 52.

<sup>17</sup> carte de végétation de PRILIPKO, 1954, fig. 81 et Atlas de l'Azerbaïdjan 1963, p. 89.

contestée. Ainsi, dans la province de l'Alazan-Avtoran, GULISASHVILI & al. (1975, p. 37) décrivent à ces altitudes divers types forestiers dominés par *Betula verrucosa*, *B. litwinovii*, ou *Acer traucvetteri*, *Sorbus caucasigena*, *Fagus orientalis* et *Quercus macranthera*. Par contre, PRILIPKO (1954, p. 111) cite ces mêmes espèces comme simples "accompagnatrices" du *Quercus* dominant. Il s'agit probablement du même groupement éclaté en plusieurs sous-unités selon la dominance locale de l'une ou de l'autre de ces espèces.

### III.3.2. LA CHENAIE SOUS CLIMAT MONTAGNARD CONTINENTAL

Elle s'observe dans le Petit Caucase, essentiellement en Arménie <sup>18</sup> : versant sud du Pambak, est de l'Aragats, flanc occidental du Gegam, méridional du Varden, chaînes du Zangezur et du Karabakh méridional, ce dernier en Azerbaïdjan. Dans ces deux derniers massifs, la chênaie à *Quercus macranthera* atteint son optimum de développement : "dans le petit Caucase et spécialement dans le Karabakh méridional, les chênaies sont mieux développées qu'ailleurs en Azerbaïdjan" (PRILIPKO, 1954, p. 109). Dans le Zangezur, chaîne voisine à l'ouest du Karabakh, "s'installent les plus pures des chênaies à *Quercus macranthera*, sur les pentes régulières, ni trop abruptes, ni trop accidentées, ni trop humides du flanc nord entre 2.100 et 2.300 m (DOLUKHANOV, 1949, p. 95)".

GULISASHVILI & al. (1975, p. 39) situent les limites moyennes de la chênaie entre 1.400 / 1.500 et 2.500 / 2.550 m.

Cependant, la limite supérieure peut atteindre des valeurs plus élevées : ainsi, GULISASHVILI & al. (1975, p. 118) la situe vers 2750 m sur les pentes sud de la chaîne de megrin, dernier chaînon du Zangezur, ce qui recoupe les observations de DOLUKHANOV (1949, p. 93) : 2.750 m pour tout le Zangezur, "si l'on ne tient pas compte des petites enclaves de chênaie de faible rendement ... et des plages à arbustes rampants abritées entre les rochers, au-delà de la limite de la forêt". En fait, les coupes abusives ainsi que le surpâturage des sous-bois proches des prairies subalpines et alpines, fréquentées l'été par les troupeaux, ont considérablement abaissé cette limite. De plus, l'absence de régénération qui en découle, est à l'origine d'un accroissement de l'âge moyen des peuplements, celui-ci étant estimé à 150-250 ans en Arménie (MAGAK'YAN, 1941, p. 118 ; DOLUKHANOV, 1949, p. 96) et à 250-300 ans en Azerbaïdjan (PRILIPKO, 1954, p. 110). Selon DOLUKHANOV (id., p. 97), la détérioration brusque de la régénération s'étant produite dans la seconde moitié du dix-huitième siècle.

En dessous de 1.400 m, c'est-à-dire à sa limite altitudinale la plus basse, le Chêne s'observe exceptionnellement sous forme d'enclaves isolées, au sein des peuplements à *Quercus iberica* (ex. vers 1.150 m dans la région de Tetriskaroj au S.E de Tbilissi (GULISASHVILI & al., 1975, p. 117)).

En définitive, la chênaie à *Quercus macranthera* présenterait, dans les secteurs les plus favorables, une amplitude altitudinale théorique de près de 1.300 m.

Par rapport à la composition floristique de l'Aceri-Quercetum macrantherae de l'Alborz central, les chênaies continentales du Zangezur "ne comportent pas moins de 200 espèces herbacées, sans compter les éléments non représentatifs" du groupement (DOLUKHANOV id., p. 95 et 96). Parmi une liste de 55 taxons herbacés et de 8 espèces arborées ou arbustives fournie par cet auteur, 25 taxons possèdent un statut phytosociologique déjà reconnu au sein des Querco-Fagetea, à savoir :

<sup>18</sup> Atlas d'Arménie 1961, carte de végétation, p. 52.

espèces des Quercio-Fagetea

*Allium ursinum* L.  
*Cephalanthera rubra* (L.) L. C. Rich  
*Melica uniflora* Retz  
*Poa nemoralis* L.  
*Asperula odorata* L. (= *Galium odoratum*)  
*Salvia glutinosa* L.  
*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott  
*Sorbus caucasigena* Kom. (= *S. aucuparia* L.)  
*Fraxinus excelsior* L.  
*Acer campestre* L.

transgressive des Fagetalia

*Scrofularia nodosa* L.

transgressive du Tilio-Acerion

*Campanula latifolia* L.

transgressive du Carpinion

*Carpinus caucasica* Grossh. (= *C. betulus* L., Browicz, 1982, p. 28)

transgressive du Berberidion

*Viburnum lantana* L.

transgressive des Quercetalia pubescentis

*Vicia truncatula* Fischer ex M. B.

transgressives du Carpino-Acerion

*Acer hyrcanum* F. et M.  
*Lonicera caucasica* Pall.

transgressive du Carpino-Quercion macrantherae

*Quercus macranthera* F. et M.

espèce des Rhododendro-Fagetalia orientalis

*Polygonatum polyanthemum* (M. B.) Dietz

espèce du Rubo-Fagion orientalis

*Lathyrus roseus* Stev.

espèce des Quercetea ilicis Br.-Bl.  
et du Quercion ilicis Br.-Bl. 1936

*Viola scotophylla* Jord.

espèces des Artemisietea (ou des Galio-Urticetea) et de l'Alliarion

*Lamium album* L.  
*Lapsana intermedia* M. B. (= *L. communis* ssp. *intermedia* (M. B.) Hayek)  
*Urtica dioica* L.  
*Geum urbanum* L.  
*Geranium robertianum* L.  
*Alliaria officinalis* L.  
*Myosotis sparsifolia* Mik.

espèce des Epilobietea angustifolii

*Hypericum hirsutum* L.

espèce des Stellarietea mediae

*Pyrethrum parthenifolium* (= *Tanacetum parthenium*)

espèce des Trifolio-Geranietea

*Campanula rapunculoides* L.

espèces des Origanetalia

*Astragalus glycyphylloides* D. C.

*Calamintha clinopodium* Benth.

Aux caractéristiques des mêmes syntaxons que ceux identifiés dans l'Alborz central vient donc s'ajouter une espèce des Quercetea ilicis, *Viola scotophylla*. La composante thermophile, déjà particulièrement évidente dans l'Alborz oriental avec des éléments des Quercetea pubescentis et de leurs li-sières (Trifolio-Geranietea), paraît donc ici s'amplifier. Cependant, faute de véritables relevés, exhaustifs et nombreux, une comparaison plus précise avec le groupement de l'Alborz central, permettant éventuellement la reconnaissance de syntaxons distincts selon un gradient croissant de xéricité, ne peut être actuellement envisagée.

## CONCLUSION

Sur le versant septentrional de l'Alborz, la totalité des forêts d'altitude s'inscrit dans les Querceto-Fagetea et singulièrement dans le Rhododendro-Fagion orientalis qui rassemble des associations échelonnées entre 800 et 2.800 m d'altitude. D'autres alliances, comme l'Alnion subcordatae Djazirei 1964 et le Parrotio-Carpinion Djazirei 1964, relevant toujours des Querceto-Fagetea, intègrent les associations forestières de basses altitudes. Les Querceto-Fagetea s'y développent donc sur une large amplitude altitudinale allant du subalpin au planitiaire en passant par le montagnard. Avec l'absence des Vaccinio-Piceetea, la distinction subalpin-montagnard ne se traduit qu'à un faible niveau syntaxonomique et relève davantage de critères purement altitudinaux. Le régime de faibles glaciations qui a prévalu sur l'Alborz explique probablement cette particularité. En effet, les Vaccinio-Piceetea nordiques, dont la progression en Europe est associée à celle des glaciations, ont à peine atteint le Grand Caucase sans jamais parvenir jusqu'à l'Alborz. A l'abri de ces massifs qui, méridionaux, ont joué le rôle de refuge, les Querceto-Fagetea, restés sans concurrence, ont pu se maintenir sur place et occuper la totalité des zones altitudinales.

## BIBLIOGRAPHIE :

- ASSADOLLAHI, F. (1980) : Etude phytosociologique et biogéographique des forêts hyrcaniennes. Essai synthétique et application à la région d'Assalem (Iran). Thèse 127 p. Marseille.
- ASSADOLLAHI, F., BARBERO, M. ET QUEZEL, P. (1982) : Les écosystèmes forestiers et préforestiers de l'Iran. Colloque : Définition et localisation des écosystèmes méditerranéens terrestres. St maximin 16-20/11/1981. *Ecologia mediterranea*, 8 (1-2), 365-379. Marseille.
- Atlas armyanskoy sovetskoy sotsialisticheskoy respubliki (1961) : Akad. Nauk armyanskoy S.S.R., Glavnoe upravlenie geodezii i Kartografii. Ministerstva geologii i okhrany S.S.R., 112 p. Erevan-Moskva.
- Atlas azerbajdzhanskoy sovetskoy sotsialisticheskoy respubliki (1963) : Akad. Nauk Azerbajzhanskoy S.S.R., Institut geografii. Glavnoe upravlenie geodezii i Kartografii gosudarstvennogo geologicheskogo komiteta. S.S.S.R., 214 p. Baku-Moskva.
- Atlas gruzinskoy sovetskoy sotsialisticheskoy respubliki (1964) : Akad. Nauk gruzinskoy S.S.R., Institut geografii Im. Vakhushti. Glavnoe upravlenie geodezii i Kartografii gosudarstvennogo geologicheskogo komiteta. S.S.S.R., 271 p.. Tbilisi-Moskva.

- BARTHOLOMEW, J. (1959) : the times atlas of the world. Vol. 2, south west Asia and Russia. 24 pl. et 66 p. London.
- BOISSIER, E. (1867-88) : Flora Orientalis. Vol. 1-5 et suppl. Genevae, Basileae et Lugduni.
- BORNMÜLLER, J. (1904) : Beiträge zur Flora des Elbursgebirge Nord-Persiens. Bull. Herb. Boiss., 4 : 1073-1088, 1257-1272, Genf.
- (1905) : Beiträge zur Flora des Elbursgebirge Nord-Persiens. Bull. Herb. Boiss., 5 : 49-64, 117-132, 639-654, 752-767, 837-850, 969-972, Genf.
  - (1906) : Beiträge zur Flora des Elbursgebirge Nord-Persiens. Bull. Herb. Boiss., 6 : 605-620, 765-780, Genf.
  - (1907) : Beiträge zur Flora des Elbursgebirge Nord-Persiens. Bull. Herb. Boiss., 7 : 32-43, 209-224, 425-436, 773-788, 965-980, Genf.
  - (1908) : Beiträge zur Flora des Elbursgebirge Nord-Persiens. Bull. Herb. Boiss., 8 : 109-124, 545-560, 723-738, 821-836, 915-930, Genf.
- BORNMÜLLER, J. & GAUBA, E. (1935-36) : Florulae keredjensis fundamenta (Plantae Gaubeanae iranicae). Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 39 : 73-124, 370-372, Berlin.
- (1936-37) Florulae keredjensis fundamenta II (Plantae Gaubeanae iranicae). Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 41 : 297-344, Berlin.
  - (1939) Florulae keredjensis fundamenta III (Plantae Gaubeanae iranicae). Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 47 : 52-80, Berlin.
  - (1939) Florulae keredjensis fundamenta IV (Plantae Gaubeanae iranicae). Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 47 : 121-137, Berlin.
  - (1940) Florulae keredjensis fundamenta (Plantae Gaubeanae iranicae), supplementum 1 species novae. Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 49 : 253-272, Berlin.
  - (1940-1941) Florulae keredjensis fundamenta (Plantae Gaubeanae iranicae), supplementum 2 Enumeratio specierum. Repert. Nov. Spec. Regni Veg., 50 : 365-376 ; 51 : 33-48, 84-112, 209-239, Berlin.
- BOULLET, V. (1986) : Les pelouses calcicoles (*Festuco-Brometea*) du domaine atlantique français et ses abords au nord de la Gironde et du Lot. Essai de synthèse phytosociologique. Thèse doctorat 3ème cycle, Fac. sciences et techniques de Lille, 333 p., 48 tab.
- BROWICZ, K. & ZIELINSKI, J. (1982-1986) : Chorology of trees and shrubs in south-west Asia and adjacent regions. Polish Academy of sciences, institute of Dendrology. Polish scientific publishers. Warszawa-Poznan.
- DAVIS, P. H. (1965-1988) : Flora of Turkey. Vol. 1-10. Edinburgh.
- DJAZIREI, M. H. (1964) : Contribution à l'étude de la forêt hyrcanienne. 251 p. et addendum 96 p., Gembloux.
- DJAZIREI, M. H. (1965) : Contribution à l'étude des forêts primaires de la caspienne. Bull. inst. agronom. et stat. de rech. de Gembloux, 33 (1) : 35-75.
- DOLUKHANOV, A. G. (1949) : Lesa Zangezura. Trud. botanich. instit. ak. nau. armjanskoj S.S.R., 6 : 65-134.
- DOROSTKAR, H. (1974) : Contribution à l'étude des forêts du district hyrcanien oriental (chaîne de Gorgan). 208 p. + annexes (113 + 65 p.).
- DOROSTKAR, H. & NOIRFALISE, A. (1976) : Contribution à l'étude des forêts caspiennes orientales (chaîne du Gorgan). Bull. Rech. Agrono. Gembloux, 11 (1-2), 41-58.
- DRESCH, J. (1960) : Observations sur les formes périglaciaires dans le Massif de l'Alborz et son piémont, au Nord de Téhéran. Biul. Peryglacjalny, 7 : 97-104, Wroclaw.
- EHLERS, E. (1973) : Anbausysteme in den höhenregionen des mittleren Elburz/Iran avec 5 figures, résumé anglais, 62-75. Erdwissenschaftliche forschung im auftrag der kommission für Erdwissenschaftliche forschung der Akademie der wissenschaften und der literatur herausgegeben von C. TROLL band V. Vergleichende kulturgeographie der hochgebirge des südlichen Asien. F. Steiner verlag, Wiesbaden.
- FUKAREK, P. & FABIJANIC, B. (1968) : Versuch einer pflanzensoziologischen gliederung der wald-und shibljak-gesellschaften Bosniens und Hercegovina. Pflanzensoziologische Systematik. Bericht Über das internationale symposium in Stolzenau/Weser 1964 der internationalen vereinigung für vegetationskunde herausgegeben von R. Tüxen, 112-123. Den Haag.

- GERASIMOV, I. P. & al. (1966) : Kavkas. Prirodnye usloviya i estetvennye resursy S.S.S.R., Akad. Nauk S.S.S.R., Institut geografii. Izdatel Nauka, 482 p., Moskva.
- GUINOCHET, M. & VILMORIN (DE), R. (1973-1984) : Flore de France. Vol. 1-5, 1879 p., Editions du C.N.R.S., Paris.
- GULISASHVILI, V. Z. (1956) : Gornoe lesovodstvo dlya uslovii kavkasa. 354 p. Golebumizdat. Moskva, Leningrad.
- GULISASHVILI, V. Z. (1966) : Lesa gruzii., 359-412 in Lesa yuga Evropejskoj chasti S.S.S.R. i zakavkaz'ya. Izdat. Nauka, Moskva.
- GULISASHVILI, V. Z., MAKHATADZE, L. B. & PRILIPKO L. I. (1975) : Rastitel'nost kavkasa. 234 p. Izd. Akad. Nauk Moskva, Leningrad.
- KHALILI, A. (1973) : Precipitation patterns of central Elburz. Archiv. met. Geoph. Biokl. ser. B, 21, 215-232. Springer Verlag.
- KESTSKHOVELI, I. I. (1960) : Rastitel'nyj pokrov Gruzii (resume) Akad. Nauk Gruzinskoj S.S.R., 19 p. texte, 301 phot., 1 carte, Tbilisi.
- KLEIN, J. C. (1982 a) : Les groupements chionophiles de l'Alborz central (Iran). Comparaison avec leurs homologues d'Asie centrale. Phytocoenologia, 10 (4) : 463-486, Stuttgart-Braunschweig.
- (1982 b) : Un groupement rupicole de l'Alborz central (Iran) : le Saxifragetum iranicae ass. nov. Documents phytosociologiques, 6 : 191-201, Camerino.
  - (1984) : Les groupements végétaux d'altitude de l'Alborz central (Iran). Ecologie des milieux montagnards et de haute altitude. Documents d'Ecologie Pyrénéenne, 3-5 : 199-204.
  - (1987) : Les pelouses xérophiles d'altitude du flanc sud de l'Alborz central (Iran). Phytocoenologia, 15 (2) : 253-280, Stuttgart-Braunschweig.
  - (1988) : Les groupements à grandes ombellifères et à xérophytes orophiles. Essai de synthèse à l'échelle de la région irano-touranienne. Phytocoenologia, 16 (1) : 1-36, Stuttgart-Braunschweig.
- KOMAROV, V. L. (1934-1960) : Flora S.S.S.R., Vol. 1-30. Izdat. Akad. Nauk S.S.S.R., Moskva-Leningrad.
- LACOURT, J. (1977) : Essai de synthèse sur les syntaxons commensaux des cultures d'Europe. Thèse Université Paris Sud Orsay : 149 p., 100 p. annexes, Tabl.
- MAGAK'YAN, A. K. (1941) : Rastitel'nost Armyanskoj S.S.R., Izdatel. Akad. Nauk S.S.S.R., 276 p., Moskva, Leningrad.
- OBERDORFER, E. (1979) : Pflanzensoziologische exkursions flora, 997 p. Stuttgart.
- PRILIPKO, L. I. (1954) : Lesnaya rastitel'nost Azerbajdzhana. Izdat. Akad. Nauk Azerbajdzh., 488 p. Baku.
- QUEZEL, P., BARBERO, M. & AKMAN, Y. (1978) : l'interprétation phytosociologique des groupements forestiers dans le bassin méditerranéen oriental. Documents Phytosociologiques, N. S. II : 329-352, Lille.
- QUEZEL, P., BARBERO, M. & AKMAN, Y. (1980) : Contribution à l'étude de la végétation forestière d'Anatolie septentrionale. Phytocoenologia, 8 (3/4) : 365-519. 2 cartes, 27 fig., 27 tab. Stuttgart-Braunschweig.
- RAMEAU, J. C. (1985) : Phytosociologie forestière : caractère et problèmes spécifiques ; relation avec la typologie forestière. Colloque "Phytosociologie et Foresterie". 20-22 nov. 1985, 44 p., Doc. ENGREF. Nancy.
- RECHINGER, K. H. (1986) : *Cousinia* : morphology, taxonomy, distribution and phytogeographical implications. Proc. Roy. Soc. Edinburgh 89 B : 45-58.
- RECHINGER, K. H. & al. (1963...) : Flora Iranica. Akad. Druck-u. Verlagsanstalt. Graz.



## Classification écoclimatique des zones arides (s.l.) de l'Afrique du Nord

H. N. LE HOUEROU\*

**RESUME** - Cet article fait le point de 40 années de recherches sur l'écoclimatologie des zones arides nord-africaines et constitue une synthèse des nombreuses publications de l'auteur sur la climatologie, la végétation, la phytosociologie, la biogéographie et l'agronomie des six pays du nord de l'Afrique.

L'auteur analyse d'abord les critères de classification à retenir en fonction des facteurs limitants de la vie que sont le stress hydrique et la saison sèche d'une part et le stress thermique dû à la froidure hivernale (ou son absence), d'autre part. La méthode utilisée combine celle d'Emberger et celle de Bagnouls et Gaussen avec des paramètres moins empiriques tels que l'évapo-transpiration potentielle et le quotient pluvio-évapotranspiratoire. Il montre, en particulier, que le paramètre empirique de Bagnouls et Gaussen " $P = 2t$ ", employé par de nombreux auteurs à l'échelle mondiale depuis 40 ans correspond sensiblement à 1/3 de l'ETP (mesurée ou calculée au moyen de l'équation de Penman).

Or de nombreuses mesures expérimentales effectuées en lysimètres sous divers climats montrent que l'évaporation d'un sol nu non saturé correspond sensiblement à 0,35 ETP ; ce qui justifie a posteriori la formule empirique de Bagnouls et Gaussen, qui, jusque là, pouvait paraître arbitraire. La classification adoptée, utilisée par l'UNESCO en 1979 s'éloigne de cette dernière par le niveau légèrement plus bas des seuils reconnus et biologiquement justifiés, mais surtout par l'utilisation de la moyenne des minimas de janvier au lieu de la moyenne de janvier comme critère indicatif du stress thermique hivernal, ainsi que par la justification biologique des seuils adoptés.

L'article indique un certain nombre de corrélations entre paramètres climatiques et entre certains indices bioclimatiques tels que le quotient pluviométrique d'Emberger et le quotient pluvioévapotranspiratoire. Il contient aussi les données climatiques essentielles de plus de 450 stations semi-arides, arides et hyperarides des six pays de l'Afrique du Nord et des îles Canaries, ainsi que les courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, le bilan hydrique et la longueur des saisons sèche et pluvieuse de quelques 90 stations représentatives des zones arides de ces régions.

**ABSTRACT** - The present paper reviews some 40 years of the author's research on the ecoclimatology of Northern Africa ; it thus makes a synthesis of many papers by the author and his associates on the climatology, vegetation, phytosociology, biogeography and agronomy of six Northern African countries, North of the Tropic of Cancer.

The classifying criteria to be used are first reviewed keeping in mind of overriding life-limiting factors that are Water-Stress and winter Cold-Stress (or the lack of it). The method used combines Emberger's and Bagnouls and Gaussen's with less empiric parameters such as potential evapotranspiration and the rain to PET ratio. It is in particular shown that the empiric parameter " $P = 2t$ " of Bagnouls and Gaussen, used by many authors around the world for the past 40 years, closely corresponds to 1/3 PET, as either measured or computed via Penman's equation. But many experimental data from lysimeters under various climates show that evaporation from unsaturated ground surface is about 0.35 PET ; a fact which corroborates a posteriori the validity of Bagnouls and Gaussen's empirical finding which, so far, could have seemed arbitrary. The present classification, utilized by the author and his associates since 1975, and also by UNESCO in 1979, differs from the latter by the slightly-albeit consistently-lower figures in the thresholds recognized and by the biological justification of these thresholds, but still more by the use of the mean minimum temperature of January as the indicator of winter Cold-Stress instead of the mean temperature of January or the mean annual temperature, more often utilized. Concise justification of the Cold-Stress thresholds selected is given.

The paper indicates correlations between some climatic parameters on one hand and between

\*Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS-CEPE Louis Emberger, Route de Mende, BP 5051, F 34033 Montpellier Cedex.

*various bioclimatic indices on the other, such as Emberger's pluviothermic index and the pluvio-evapotranspiratory quotient. It furthermore contains the basic climatic data from over 450 weather stations in the semi-arid, arid and hyper-arid regions in the six Northern African countries and the Canary Islands. Ombrothermal, ombrodiapneic and water balance graphs and dry-rainy seasons length/intensity are also provided for some 90 representative weather stations from the arid zones of the region.*

*MOTS-CLES - Bioclimatologie, Phytogéographie, Agronomie, Zones arides, Bassin Méditerranéen.*

## 1 - Introduction ; critères de classification

L'intérêt d'une classification écoclimatique des zones arides nord-africaines est multiple ; tout d'abord elle nécessite une analyse fine de nombreuses données relatives à une dizaine de disciplines scientifiques et d'étudier les relations existant entre toutes ces données de différente nature ; Ensuite, une telle classification donne lieu à de très nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture, de la foresterie, de l'élevage, du tourisme et même de l'industrie. Nous reviendrons en quelques détails sur ces aspects appliqués.

Par ailleurs, il ne faut pas demander à une telle classification ce qu'elle ne peut pas donner ; il est bien évident qu'il ne faut pas confondre aridité climatique et aridité édaphique (Floret & Pontanier, 1982) ; en effet, la topographie et les sols répartissent la quantité d'eau apportée par les pluies de façon très hétérogène. Il a été montré que le bilan d'eau du sol peut varier dans des proportions de 1 à 10 selon la position topographique, la nature et la profondeur du sol, la nature et la structure du couvert végétal etc., et ceci même dans des zones à climat très homogène et topographiquement très peu contrastées comme la Sologne (Le Houérou, 1962).

Les critères à prendre en considération en vue d'une classification objective et réaliste des zones arides nord-africaines sont à mes yeux :

- L'occupation des terres et la distribution des cultures et des systèmes agraires et pastoraux. Mais ce critère n'a pas une valeur universelle car l'utilisation des terres résulte non seulement des potentialités du milieu mais aussi de l'histoire de cette occupation depuis le néolithique et des traditions sociales et culturelles des occupants actuels. Un cas évident est la limite écologique inférieure de la culture des céréales qui dépend essentiellement de la pression anthropozoiqque et du niveau socio-économique des occupants.
- La répartition géographique de la Flore, de la Végétation et de la Faune.
- La nature, la structure et la répartition géographique des communautés végétales naturelles et des écosystèmes.
- Les données de la géomorphologie climatique, notamment les processus d'érosion et les paramètres du ruissellement, par ailleurs intimement liés à la nature et à la structure du couvert végétal ; mais, en matière de géomorphologie, il convient de bien distinguer les formes héritées du passé, notamment du quaternaire, et les processus actuels qui peuvent être totalement différents.
- Les données numériques du climat, en corrélation avec les faits biogéographiques et la variation géographique des critères précédents, notamment ceux relatifs au stress hydrique (sécheresse) et thermique (tolérance au froid et au gel hivernal). Ces derniers facteurs sont essentiels puisqu'ils contrôlent la croissance et la distribution géographique des plantes (y compris les cultures) et des animaux (y compris le bétail et l'homme). Dans le continuum apparent des données on peut distinguer et définir de façon objective des seuils ou des valeurs discriminantes qui permettent d'établir des limites donc des catégories et par conséquent une classification. (Emberger, 1930-1972 ; Bagnouls & Gaussen, 1952-1970 ; Köppen 1901-1931 ; De Martonne, 1926 etc.).

Les originalités de la présente classification sont : son caractère interdisciplinaire et l'utilisation de critères et d'indices climatiques objectifs et rationnels qui n'étaient pas disponibles jusqu'à un passé récent. Ces critères remplacent les indices empiriques utilisés dans beaucoup de classifications antérieures essentiellement basées sur des rapports entre la pluviosité et la température.

## 2 - Appréciation de l'intensité et la durée du stress hydrique : la saison sèche

### 2.1. - L'intensité de la saison sèche

La saison sèche est par définition celle où se manifeste, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique plus ou moins intense et plus ou moins continues.

Comment évaluer l'intensité et la durée de cette période ? Naguère l'intensité de la sécheresse climatique, généralement appréciée à l'échelle mensuelle, s'évaluait par le rapport de la pluviosité moyenne mensuelle à la température moyenne mensuelle (Indices de Lang, de De Martonne, de Köppen, d'Emberger, de Bagnouls & Gaussen, de Birot, etc.) ou par le quotient de la pluviosité au déficit de saturation, (indices de Szymkiewics, de Mayer, à l'évaporation (estimée au moyen de l'évaporomètre de Piche) : indice de Transeau, de Capot-Rey, de Dubief, de Thornthwaite, etc.).

Depuis quarante ans, est apparue une notion nouvelle, celle d'évapotranspiration potentielle (Thornthwaite, 1948 ; Penman, 1948), qui permet une évaluation rationnelle du bilan hydrique climatique, puisque toutes les données sont exprimées en mm d'eau, à diverses échelles de temps : jour, semaine, décade, mois, décennie etc. Mais l'appréciation de l'ETP est beaucoup moins simple que ne l'avaient cru les premiers spécialistes pour qui l'évapotranspiration d'un sol totalement couvert de végétation active est toujours la même dans des conditions climatiques données. L'expérience a montré qu'il n'en est pas ainsi et que l'ETP mesurée en case lysimétrique peut varier dans de substantielles proportions en fonction de la plante utilisée et de son état physiologique. C'est ainsi, par exemple qu'on a observé en Tunisie que l'ETP mesurée sur un tapis de luzerne était d'environ 10 % supérieure à celle mesurée sur un gazon de Pennisetum clandestinum (Kikuyu Grass) ; avec une différence plus forte en hiver qu'en été (Le Houérou, 1969). La différence serait encore plus forte à l'échelle saisonnière si on comparait l'ETP d'une espèce à croissance hivernale telle Festuca arundinacea (Fétuque-roseau) avec celle d'un gazon de croissance estivale tel que le Kikuyu !

Par ailleurs, s'agissant de l'ETP calculée, il peut y avoir d'énormes différences en fonction de la formule de calcul. Dans le Bassin Méditerranéen, par exemple, la formule de Thornthwaite donne des chiffres inférieurs à ceux obtenus par la méthode de Penman ou celle de Turc d'environ 40 % (Le Houérou, 1959, 1969). Or, il existe actuellement une soixantaine de méthodes publiées de calcul de l'ETP. Nous avons utilisé ici celle de Penman qui constitue la référence par excellence en raison de ses bases physiques irréprochables. Mais la méthode de Penman nécessite de nombreuses données qui font défaut dans la plupart des stations climatiques ; on obvie à cet inconvénient en faisant une estimation des paramètres qui font défaut ; c'est ainsi que le paramètre aérodynamique de l'équation est le plus souvent estimé. En fonction de cette estimation on peut obtenir des résultats très sensiblement différents. L'évaluation de l'ETP ne fournit donc pas des données très précises ; mais cette méthode présente néanmoins une amélioration considérable par rapport aux estimations empiriques basées sur le quotient de la pluviosité par la température ; au moins les grandeurs examinées sont de même nature !

Une méthode également rationnelle a été développée par l'école russe de Budyko, basée sur le bilan énergétique. Le quotient radiatif de sécheresse de Budyko (1958) est constitué par le quotient du rayonnement net par la chaleur latente de vaporisation multipliée par la pluviosité moyenne annuelle ( $Q = R_n/LP$ ). Lorsque  $Q$  est supérieur à 1, il y a déficit hydrique donc aridité, selon l'interprétation de Budyko ; cet auteur considère que toutes les zones d'indice inférieur à 3,4 appartiennent aux zones désertiques, alors que pour nous et les autres écologues spécialistes de l'Afrique du Nord, le Sahara présente un indice de Budyko supérieur à 10.

Nous avons d'ailleurs développé également un Indice de Xéricité comparable à celui de Budyko, mais basé sur le rayonnement global (Le Houérou, 1972, 1984). Les résultats sont très voisins de ceux de Budyko, mais les données relatives au rayonnement global sont plus courantes et faciles à obtenir et ne nécessitent pas de longs calculs, contrairement à celles du rayonnement net. Il s'agit donc d'une méthode rapide et approchée permettant d'obtenir un ordre de grandeur en première approximation ; les chiffres d'EPRG ainsi obtenus sont intermédiaires entre ceux obtenus par la méthode de Penman et celle de Turc. Les équations s'écrivent :

$$(1) \text{ EPRG} = 0,5 R_g/59 = 0,0085 R_g$$

$$(2) I_x = P/\text{EPRG} = P/0,0085 R_g$$

où : EPRG = Evapotranspiration Potentielle Radiative Globale ;

$R_g$  = Radiation globale en Klangleys;

- 59 = chaleur latente de vaporisation (nombre de calories nécessaires pour évaporer 1 mm d'eau) ;  
 Ix = Indice de xéricité ;  
 P = pluviosité moyenne

On notera que cet indice de xéricité est l'inverse de celui de Budyko ; il exprime le rapport entre la pluviosité et la demande évaporative, alors que ce dernier représente le nombre de fois que la radiation nette moyenne peut absorber la pluviosité moyenne.

L'indice de xéricité (P/EPRG) s'exprime donc par des chiffres voisins de ceux représentant le rapport P/ETP (Penman) ; au point que les deux indices sont virtuellement interchangeables, sauf sans les zones fortement ventées et celles soumises à un fort effet d'oasis pour les quelles l'équation de Penman prend en compte l'apport advectif d'énergie supplémentaire que l'indice de xéricité ne peut, bien entendu, pas intégrer.

L'intensité de la saison sèche peut ainsi s'apprécier par le rapport P/ETP (UNESCO, 1979) ou par l'indice de xéricité (Le Houérou, 1972). Les seuils de valeurs discriminantes caractéristiques des grandes zones (semi-aride, aride, hyper-aride) que nous avons utilisés sont un peu inférieurs à ceux retenus pour la carte de répartition mondiale des zones arides (UNESCO, 1979). La raison de cette différence mineure tient au fait que la carte de l'UNESCO et destinée à un usage mondial et perd par conséquent en précision pour telle ou telle zone ce qu'elle gagne en généralisation.

Les rapports P/ETP ou P/EPRG sont généralement considérés à l'échelle temporelle de l'année ; mais pourraient aussi bien, pour des travaux de détail, être considérés à l'échelle mensuelle, décadaire ou hebdomadaire.

En pratique, les valeurs-seuils retenues correspondent, dans leur représentation cartographique, aux limites utilisées par nos devanciers. La limite du Sahara, déterminée par les valeurs 250 à 300 de l'indice xéothermique de Bagnouls et Gausson, correspond aux valeurs 0,05 - 0,06 du quotient P/ETP. De même, la valeur 10 du quotient pluviothermique d'Emberger correspond presque exactement à ces mêmes valeurs. On pourrait multiplier les exemples (Le Houérou, 1959, 1969 ; Le Houérou & al., 1975, 1977/79 ; Floret & Pontanier, 1982). En fait, la limite septentrionale du Sahara correspond sensiblement à l'isohyète de pluviosité moyenne annuelle de 100 mm quel que soit l'indice de référence ou la méthode d'approche utilisée (Le Houérou, 1959, 1978, 1984).

Il convient de noter à ce propos l'excellente corrélation existant entre le coefficient pluviothermique d'Emberger et le rapport P/ETP ; correspondance signalée par plusieurs auteurs (Calvet, 1966, 1971, 1982 ; Le Houérou, 1972, 1984 ; Daget, 1971) ; la figure n° 1, montre la régression que nous avons calculée sur la base des données de 120 stations arides et hyper-arides de l'Atlantique à la Mer rouge. Cette correspondance souffre cependant une exception notable, en effet le quotient pluviothermique conduit à sous-estimer largement l'aridité en zone littorale océanique et de façon générale partout où l'amplitude thermique (M-m) est faible ; c'est le cas des stations littorales du Sud-Marocain et des Canaries, en particulier. Les quotients pluviothermiques de Tan-Tan et de Tarfaya sont respectivement de 19,7 et 13,5, ce qui placerait ces stations dans les zones aride moyenne et aride inférieure respectivement alors que les rapports P/ETP et l'indice de xéricité sont de 0,08 et 0,04 ; ce qui les place dans la zone aride inférieure et dans la zone hyper-aride supérieure respectivement. L'étude de la végétation et de l'utilisation des terres confirment ce dernier point de vue ; les stations de Dakhla (ex Villa Cisneros) et de Lagouira (jouxant Nouadhibou, ex Port-Etienne) présentent des quotients pluviothermiques de 9,5 et 6,2 respectivement, ce qui les placerait dans la zone hyper-aride supérieure dans le système d'Emberger, alors que l'indice de xéricité et le rapport P/ETP sont de 0,02, ce qui les situe à la limite de la zone hyper-aride inférieure et de la zone érémitique (pluviosité moyenne annuelle 29 et 23 mm respectivement). Agadir et Sidi Ifni présentent un Q3 de 38,6 et 47,2 ce qui, dans le système d'Emberger, les placerait dans l'étage semi-aride inférieur alors que la végétation naturelle et l'utilisation des terres les placent dans la zone aride moyenne ; de fait, l'indice de xéricité et le rapport P/ETP sont de 0,21 pour Agadir et 0,17 pour Sidi Ifni, ce qui les place sans équivoque dans la zone "aride moyenne" ; l'examen de l'occupation des terres et l'analyse de la végétation spontanée confirment cette classification. On retrouve les mêmes phénomènes aux Iles Canaries, comme le montre le tableau suivant :

Stations	P mm	Q3	Durée de la saison sèche	Ix ; P/ETP
Los Estancos (Fuerte Ventura)	125	33,0	360 j.	0,09
Arrecife (Lanzarote)	145	38,3	350 j.	0,11
Las Palmas (Gran Canaria)	145	38,6	320 j.	0,13

Dans le système d'Emberger, les trois stations se situent dans l'étage semi-aride inférieur à la limite de l'aride supérieur, tandis que l'indice de xéricité, le rapport P/ETP et la longueur de la saison sèche les placent dans la zone aride inférieure à la limite de la zone hyper-aride, ce que confirment la végétation spontanée et l'occupation des terres.

Les mêmes phénomènes se rencontrent en situation similaire au Chili littoral, en Californie et en Baja California du Nord-Ouest ; toutes ces zones sont, comme le Sud-Ouest marocain et les Canaries, soumises aux conséquences climatiques de la présence de courants océaniques froids et des "upwellings" qui les accompagnent, provoquant des brouillards côtiers et de très faibles amplitudes thermiques, une forte humidité atmosphérique, et des températures relativement basses eu égard à la latitude. Dans ces zones l'ETP est de 30 à 40 % inférieure aux valeurs zonales de l'hinterland (Agadir 1090 mm, Sidi Ifni 995 mm, Las Palmas 1141 mm, Tan-Tan 1293 mm, Tarfaya 1121 mm, Laayoun 1470 mm etc.). On voit donc que le quotient pluviothermique d'Emberger est en défaut dans des zones arides océaniques, en raison, essentiellement, de la faible amplitude thermique dans ces régions littorales ; les valeurs de M-m y varient en effet, de 10 à 20°C, et parfois moins, tandis que ce paramètre peut dépasser 40°C dans les zones méditerranéennes continentales du moyen Orient et couramment 30 à 40°C dans les Hautes Steppes nord-africaines et au Sahara Septentrional (Ouarzazate 39, Djelfa 34, Béchar 37, Ain Sefra 38, Biskra 36, Laghouat 34, Tebessa 33, Ghardaïa 38, Toggourt 38, Ouargla 38, El Golea 39, etc.).

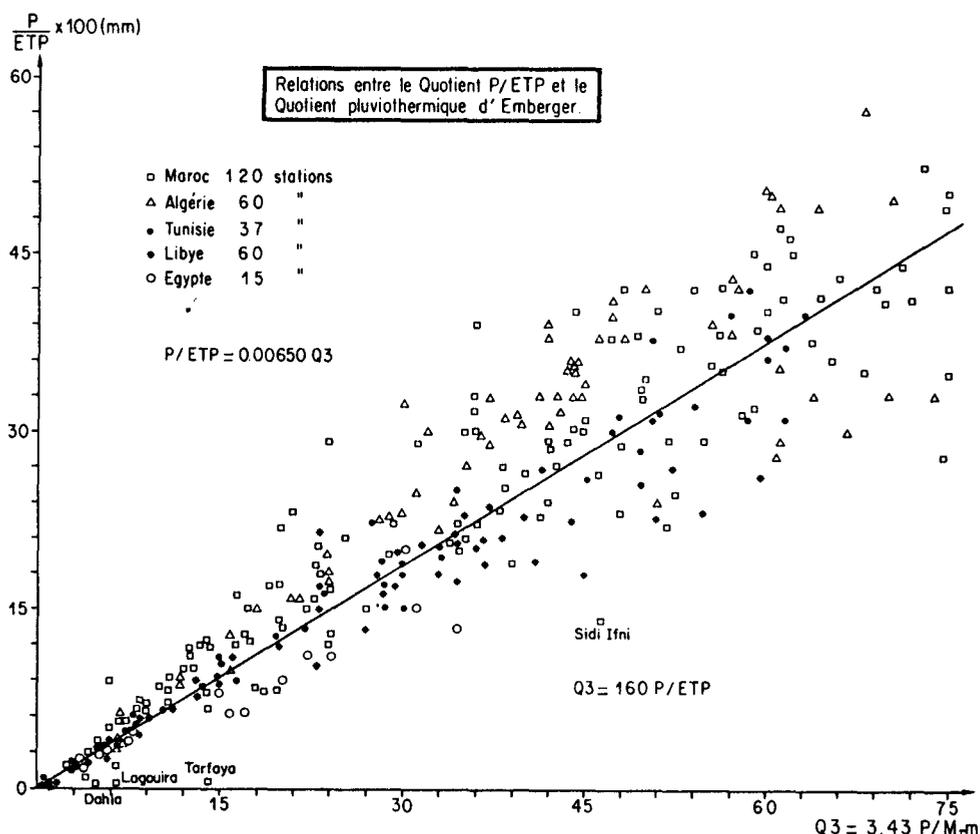


Fig.n° 1 Relation entre le Quotient Evapotranspiratoire (P/ETP) et le Quotient Pluviothermique d'Emberger.

## 2.2. - La longueur de la saison sèche

La longueur de la saison sèche est généralement corrélative de son intensité ; mais il existe d'importantes différences selon que cette saison sèche annuelle est continue ou non ; c'est-à-dire selon que le régime pluviométrique annuel est monomodal, bimodal ou multimodal.

On doit à Bagnouls et Gaussen (1953) une méthode simple et efficace de discrimination entre la saison sèche et la saison pluvieuse : le critère  $P = 2t$ . Les périodes où la pluviosité moyenne exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius sont considérées sèches. Inversement, les périodes pour lesquelles la pluviosité moyenne est égale ou supérieure au double de la température constituent la saison pluvieuse. On a, à juste titre, reproché à cette méthode son caractère empirique et arbitraire, contingente des unités de mesure utilisées ; il n'en demeure pas moins que cette méthode a donné satisfaction à deux générations d'écologues, de géographes et d'agronomes, pour ne mentionner que ses utilisateurs principaux. Nous avons montré que ce critère était étroitement corrélé à un paramètre plus rationnel d'origine expérimental. En effet, de nombreuses recherches en case lysimétrique sous les climats les plus variés ont montré que l'évaporation d'un sol nu non saturé est approximativement égale à 0,35 ETP (Penman) ; en effet, le coefficient cultural utilisé en agronomie irriguée pour la détermination des besoins d'eau depuis l'époque du semis jusqu'à l'émergence des plantules (c'est-à-dire la période où le sol reste nu) montre que ce coefficient (Kc) varie selon les sols et les cultures entre 0,3 et 0,4 ETP (Doorenbos & Pruitt, 1979). Il en résulte que toute quantité d'eau présente dans le sol au delà de 0,35 ETP est, en principe, disponible pour les plantes. Ce paramètre nous a ainsi semblé constituer un critère expérimental simple et rationnel pour distinguer la saison pluvieuse de la saison sèche. Nous avons alors comparé les valeurs discriminantes ainsi obtenues avec celles résultant de l'utilisation du critère de Bagnouls & Gaussen. A l'échelle mensuelle et annuelle les valeurs, exprimées en nombre de mois secs par an, sont identiques pour 920 des 1000 stations analysées sous divers types de climats (Le Houérou & Popov, 1981, le Houérou, 1989). Cette étude montre, si besoin est, le bien-fondé de la méthode empirique de Bagnouls et Gaussen, reprise, systématisée et vulgarisée par Walter (Walter & Lieth, 1960 ; Walter & al., 1975).

Il y a cependant, des écarts importants entre les valeurs de 2 t (exprimés en mm) et 0,35 ETP pour certaines stations, en particulier dans les zones hyper-arides où les valeurs de 0,35 ETP sont nettement plus élevées que celles de 2 t\*. Sur le plan saisonnier, les valeurs de 0,35 ETP sont généralement plus faibles en hiver et plus élevées en été que celles de 2 t. La différence entre les deux méthodes en termes de nombre de jours de saison sèche ou de saison pluvieuse est réellement minime pour la plupart des stations analysées, tant sous climat méditerranéen que tropical et tempéré (Le Houérou, 1975a, 1989).

Nous avons ainsi apprécié la longueur de la saison sèche par le nombre moyen de jours annuels où la pluviosité moyenne est inférieure à 0,35 ETP pour les stations où cette donnée existe et pour celles pour lesquelles existent des données permettant de la calculer. Pour les autres stations nous avons utilisé comme substitut le critère 2 t. Dans ce dernier cas l'ETP a été calculée à partir de t ; puisque 0,35 ETP est virtuellement identique, pour la plupart des stations, à 2 t, il en résulte que :

$$\text{ETP} = t \times 2 \times 2,86 = 5,72 \text{ t, à l'échelle mensuelle.}$$

$$\text{ETP} = t \times 2 \times 2,86 \times 12 = 68,64 \text{ t, à l'échelle annuelle.}$$

Bien entendu, les chiffres d'ETP ainsi obtenus sont voisins de ceux résultant d'équations plus complexes et virtuellement identiques à ceux résultant du calcul de l'EPRG (voir tableau n° 6 et Fig. n° 1, 4 et 6-16).

## 3 - Le stress thermique hivernal, tolérance au froid

Les plantes se développent entre des limites thermiques très variables ; certaines espèces tolèrent des températures basses tandis que d'autres y sont très sensibles. A l'échelle du globe on estime généralement que les plantes se développent lorsque la température moyenne mensuelle atteint ou dépasse 5°C ; ce qui correspond à des minima moyens de l'ordre de 0°C. Mais il y a de très grandes différences entre espèces puisque la photosynthèse est encore susceptible d'intervenir sous des températures de -5°C chez plusieurs espèces d'épicea, tandis que la plupart des espèces tropicales n'entrent en activité que vers 12-15°C. En zone méditerranéenne (aride ou non) il existe de grandes

\* L'exemple le plus flagrant est le diagramme ombro-diapnéique de Ghadamès cf. fig. n°16 en annexe.

différences entre espèces quant à la tolérance au froid ; certaines espèces tels les xérophytes épineux en coussinet des steppes pulvinées de haute montagne se développent dans des zones où le gel sévit pendant plus de 6 mois par an tandis que d'autres espèces, telles les euphorbes cactéoïdes ne peuvent tolérer le moindre gel. Cet aspect a été abordé par un petit nombre d'auteurs en Afrique du Nord (Gounot, 1959 ; Le Houérou, 1959, 1969, Le Houérou & al., 1975, 1977/79 ; Donadieu, 1977 ; Peyre, 1977 ; Lecompte, 1986 ; Peltier, 1982). Des groupes écologiques en fonction des températures hivernales ont ainsi été mis en évidence.

Le critère écoclimatique le plus souvent utilisé en zone méditerranéenne, à la suite d'Emberger, est la moyenne des températures minimales journalières du mois le plus froid ("m"), qui a été corrélé avec le nombre moyen de jours de gel sous abri et avec les températures minimales absolues. Nous avons montré par ailleurs les avantages de ce paramètre par rapport à des critères plus souvent employés telle que la température moyenne annuelle ou la température moyenne du mois le plus froid ; il est indéniable que "m" est beaucoup plus sensible, précis et fidèle que ces derniers critères (Le Houérou, 1972, 1975 à 1989).

Mais nous avons également montré que "m" est insuffisant pour rendre compte d'un certain nombre de phénomènes liés au réchauffement printanier et aux journées chaudes et ensoleillées d'hiver auxquels est liée la distribution d'un certain nombre d'espèces par ailleurs tolérantes au froid, notamment dans les steppes présahariennes de l'Algérie Occidentale (à l'Ouest du méridien 0°) et du Sud Marocain (Le Houérou & al., 1977/79). Pour rendre compte de ces phénomènes nous avons combiné les critères "m" et "M'". Ce dernier étant la moyenne des maxima quotidiens du mois le plus froid (janvier). Ce dernier critère est aussi étroitement corrélé avec l'ETP de janvier (Le Houérou & al., 1977/79). On aboutit ainsi aux combinaisons exposées dans la matrice du tableau n° 4. Il se trouve en effet, que M' est relativement indépendant de m ; nous avons ainsi défini les seuils suivants (Tableau n° 4).

M' < 10	- Variante thermique microhémérotherme
10 < M' < 12	- Variante thermique mésohémérotherme
12 < M' < 15	- Variante thermique macrohémérotherme
15 < M'	- Variante thermique mégahémérotherme

Ces quatre variantes existent dans les zones à hivers froids ( $-1 < m < +1$ ), à hivers frais ( $+1 < m < 3$ ) et à hivers tempérés ( $3 < m < 5$ ) ; mais les zones à hivers doux et chauds ( $5 < m$ ) sont toutes mégahémérothermes.

### 3.1. - Seuils et valeurs discriminantes de "m" (Tableau n° 3)

Depuis 1959, nous avons proposé, avec Gounot, un certain nombre de seuils de "m", basés sur la distribution en Tunisie des espèces thermophiles et cryophiles et sur la phénologie. Les seuils ainsi distingués sont les suivants :

#### 3.1.1. - Zones à hivers très chauds ( $9 < m$ )

Il n'y a pas de gel à la surface du sol (ni, bien entendu, sous abri). Il n'y a pas de repos végétatif hivernal, du moins tant qu'il y a de l'eau disponible dans le sol. Virtuellement toutes les cultures tropicales sont possibles à l'irrigation ainsi que les primeurs de plein champs. Ces zones sont limitées au littoral atlantique sud-marocain et à une étroite bande littorale à l'est du 19° de longitude E (Cyrénaïque, Egypte) et le long des côtes de la Mer Rouge (et du Golfe Arabo-Persique). La végétation naturelle comprend de nombreuses espèces thermophiles d'affinité tropicale, généralement à voie de carboxylation en C4 ou en CAM.

#### 3.1.2. - Zones à hivers chauds ( $7 < m < 9$ )

0 à 5 jours de gel sous abri et quelques gelées blanches au sol.

Repos de végétation hivernal de 5 à 10 jours. La plupart des cultures tropicales sont possibles à l'irrigation (Manguier, Avocatier, Goyave, Bananier, Canne à Sucre, etc.) ainsi que les primeurs de plein champ, le maïs d'hiver, et, bien entendu, tous les Citrus. Présence de nombreuses espèces

d'affinité tropicale dans la végétation spontanée. Ces zones sont limitées à une étroite bande littorale le long de l'Atlantique, de la Méditerranée et de la Mer Rouge. L'altitude est généralement inférieure à 100 m. On note la présence dans la végétation spontanée d'euphorbes dendroïdes (E. dendroïdes, E. regis-jubae, E. balsamifera) ou cactoïdes (E. echinus, E. baumierana, E. resinifera).

### 3.1.3. - Zones à hivers doux ( $5 < m < 7$ ).

On observe 5 à 15 jours de gel sous abri. Le repos hivernal de végétation dure 10 à 30 jours. Un certain nombre de cultures sensibles au froid sont encore possibles tels les citrus, le caroubier, les cactus, les Acacias à phyllodes, les avocats, les luzernes à cycle long ; l'isotherme de  $m = 5$  constitue la limite thermique inférieure de la culture de ces espèces. Dans la végétation spontanée cet isotherme correspond à la limite thermique inférieure d'un grand nombre d'espèces d'affinité tropicale ; citons pour les espèces d'intérêt pastoral : Cenchrus ciliaris, Digitaria commutata subsp. nodosa, Tricholaena teneriffae, Cymbopogon schoenanthus, Dichanthium annulatum, Heteropogon contortus, Botriochloa ischaemum, Themeda triandra, Lasiurus hirsutus, Pennisetum elatum, P. setaceum, P. divisum, Tragus racemosus, T. berteronianus, Dactyloctenium aegyptium, Enneapogon scaber, Tetrapogon villosus, Imperata cylindrica, Sporobolus ioclados, S. tourneuxii, Triplachne nitens, Spartina patens, pour ne citer que des graminées (Le Houérou, 1959, 1969, Le Houérou & al., 1975, 1977/79, 1989).

### 3.1.4. - Zones à hivers tempérés ( $3 < m < 5$ ).

On observe 10 à 20 jours de gel sous abri et 20 à 40 jours d'arrêt hivernal de végétation. L'isotherme de  $m = 3$  constitue la limite thermique absolue des espèces sensibles au froid telles que les agrumes, le caroubier, les cactus Opuntia ficus-indica, les Acacias à phyllodes ; cet isotherme constitue également la limite thermique inférieure absolue des Acacias sahariens (A. tortilis subsp. raddiana, A. ehrenbergiana, A. nilotica, Faidherbia albida etc.). La végétation spontanée se caractérise par l'absence à la fois d'espèces thermophiles et d'espèces cryophiles. Les espèces et variétés fruitières nécessitant une période de froid hivernal pour fructifier peuvent se développer (pommier, poirier, cerisier, pistachier etc.). L'altitude est généralement inférieure à 600 m.

### 3.1.5 - Zone à hivers frais ( $1 < m < 3$ ).

On observe 15 à 30 jours de gel sous abri et un arrêt hivernal de la végétation de 30 à 50 jours. On note l'apparition d'espèces cryophiles dans la végétation spontanée (espèces liées, ou tolérantes au froid). L'isotherme  $m = 1$ , constitue la limite thermique inférieure absolue de l'olivier et du palmier dattier. L'altitude est généralement supérieure à 600 m, mais inférieure à 1 000 m en zone continentale. Parmi les espèces végétales cryophiles, on peut citer plusieurs Alyssum, Artemisia atlantica, Avena bromoïdes, Ajuga chamaepitys, Astragalus numidicus, Astragalus nummularioides, Centaurea incana, Centaurea tenuifolia, Hypericum ericoides, Launaea acanthoclada, Anabasis aretioides, Bupleurum balansae, Hippocrepis scabra, Lotophyllus argenteus etc.

### 3.1.6 - Zones à hivers froids ( $-1 < m < +1$ ).

Le seuil inférieur de cette zone thermique a longtemps (et arbitrairement) été fixé à 0°C. Mais une analyse détaillée de la distribution des espèces végétales et de la phénologie en zone continentale de Tunisie au-dessus de l'altitude 1 000 m, a montré que ce seuil correspondait à  $M = +1$  et non 0°C (Le Houérou, 1969, 1982/84 ; Le Houérou & al., 1975, 1977/79). L'altitude est généralement supérieure à 1 000 m en zone continentale, mais beaucoup plus en zone océanique. On note la nette dominance d'espèces cryophiles dans la végétation spontanée. Parmi celles-ci on peut citer : Artemisia atlantica, Artemisia mesatlantica, Alyssum alpestre, Cirsium acaule, Carduus nutans, Ranunculus gramineus, Thymelaea tartonraira, T. nitida, Ziziphora hispanica, Catananche coespitosa, Crucianelle patula, Erinacea anthyllis, Koeleria vallesiana, Ormenis africana (= Santolina chamecyparissus), Ormenis scariosa, Salvia argentea, Asphodelus acaulis, Eresyum incanum, E. bocconeii, Scrofularia canina, Onobrychis argentea, Wangenheima lima etc.

3.1.7. - Zones à hivers très froids ( $-3 < m < -1$ ). La période de gel hivernal est de deux à quatre mois et la période de repos végétatif de 3 à 6 mois. Cette zone correspond à des formations végétales d'altitude caractérisées par des xérophytes épineux en coussinets (formations pulvinées) où dominant des espèces comme Bupleurum spinosum, Erinacea anthyllis, Vella mairei, Cytisus balansae, Alyssum spinosum, Arenaria pungens etc. Les espèces arborées sont le cèdre de l'Atlas et le genévrier thurifère ; dans les zones les plus humides du Rif et des Babors se développent les sapins (Abies maroccana, A. numidica). L'altitude est supérieure à 1 500 - 2 000 m.

#### 4 - Distribution saisonnière et variabilité annuelle des pluies

La distribution saisonnière des pluies en zone aride nord-africaine est sujette à plus de variations géographiques qu'on ne le croit généralement. On peut distinguer 4 régimes principaux (Le Houérou, 1969, 1984, 1989) :

- Régime côtier à premier maximum automnal où le maximum annuel intervient au cours des mois d'octobre-novembre. Ce régime domine en méditerranée occidentale à l'ouest du méridien de 19°, passant par le fond du Golfe de la Grande Syrte.
- Régime oriental où le maximum annuel intervient de décembre à février avec 60 à 80 % des pluies annuelles survenant, en moyenne, en cette saison. Ce régime prédomine à l'est du méridien de 19° ; c'est le type de régime prédominant au Proche-Orient ainsi que, pour le Nord de l'Afrique, en Libye Orientale (Cyrénaïque) et en Egypte.
- Régime continental. Ce régime intervient principalement en altitude, notamment dans les hautes plaines steppiques de la Tunisie Centrale Occidentale, les steppes algériennes et celles du Maroc Oriental.

Tous ces régimes présentent un minimum absolu estival voisin de zéro et un minimum relatif d'hiver, de printemps ou d'automne.

- Régime à pluies estivales. Ce régime se caractérise par une proportion relativement élevée de pluies estivales survenant sous forme d'orages orographiques de convection. La somme des pluies estivales peut atteindre 20 à 25 % du total annuel (Le Houérou, 1969, 1982). Ce type de régime se rencontre en zone continentale d'altitude, notamment dans la zone aride supérieure le long de la frontière algéro-tunisienne et dans certaines montagnes : Aurès, Nememchas, Atlas saharien, Grand Atlas, Anti-Atlas. Ce type de régime a été insuffisamment étudié et mériterait davantage d'attention de la part des climatologues, des bioclimatologues, des biogéographes et des agronomes. Ce régime pourrait être considéré comme caractéristique d'un climat méditerranéen atténué :  $(1,5 < \frac{Pe}{M} < 3,0)$  ; où Pe = pluviosité estivale et M = moyenne des températures maxima du mois le plus chaud (Emberger, 1943 ; Le Houérou, 1969).

Ces différents types de régimes entraînent naturellement d'importantes conséquences écologiques et agronomiques. Le régime de la méditerranée occidentale tend à favoriser les espèces pérennes aux dépens des espèces annuelles ; il faut ainsi, en moyenne, 100 mm de pluies en plus pour pratiquer avec succès l'arboriculture fruitière en sec dans les zones arides du Proche Orient à régime pluviométrique monomodal hivernal par rapport au régime bimodal de la méditerranée occidentale à maximum automnal ou printanier. Le phénomène opposé se manifeste à propos des cultures annuelles : il faut, en moyenne, 100 mm de moins pour pratiquer avec succès la céréaliculture en sec au Proche-Orient par rapport à l'Afrique du Nord (Le Houérou, 1982, 1989). L'arboriculture en sec se pratique jusque sous 150-200 mm en Afrique du Nord contre 250-300 mm au Proche-Orient ; par contre, la culture fiable des céréales demande 350-400 mm en Afrique du Nord contre seulement 250-300 mm au Proche-Orient.

Le régime à pluies estivales est particulièrement favorable au pâturage et à certaines cultures tropicales ou subtropicales qui peuvent se pratiquer en culture sèche sous ce type de régime ; un bon exemple en est la culture du cactus Opuntia ficus-indica dans les zones où  $m : 1,5$  à  $2,0^{\circ}\text{C}$  avec  $M'$  supérieur à 12 (Monjauze et Le Houérou, 1965). Ces zones se caractérisent aussi par un cortège

floristique riche en espèces à affinité tropicale, là où les  $m$  sont supérieurs à  $3^{\circ}\text{C}$  : Cynodon dactylon y joue un rôle pastoral important dans les jachères : on y rencontre également mais moins communément : Hypparhenia hirta, Dichanthium annulatum, Heteropogon contortus, Cymbopogon schoenanthus, Tricholaena teneriffae, Digitaria nodosa, Cenchrus ciliaris et d'autres espèces d'affinité tropicale.

La variabilité des précipitations annuelles est, comme dans les autres zones arides du monde, inversement proportionnelle à la hauteur des moyennes. Mais on observe une différenciation géographique de cette variabilité sous une moyenne donnée. De façon générale les régimes bimodaux tels ceux de la méditerranée occidentale présentent des variabilités sensiblement plus accusées que les régimes monomodaux du Proche-Orient où de l'Afrique du Nord Orientale.

En Afrique du Nord, dans la zone semi-aride, le maximum observé au cours d'une année quelconque atteint 4 à 5 fois le minimum et le coefficient de variation des pluies annuelles est de 25 à 35 %. Dans la zone aride le maximum observé dans les séries représente 5 à 12 fois le minimum et le coefficient de variation passe progressivement de 35 à 60 % entre les isohyètes de 400 à 100 mm. Dans la zone hyper-aride la variabilité est extrême : le coefficient de variation de la pluviosité annuelle varie de 60 à 120 % dans la zone hyper-aride supérieure et 100 à 200 % dans la zone hyper-aride inférieure. En zone érémitique la notion de variabilité ne présente plus de sens puisque la pluviosité y est totalement aléatoire c'est-à-dire sans saison bien définie et que les chutes sont rarissimes et imprévisibles, pouvant faire entièrement défaut pendant de nombreuses années. Pour ce qui concerne une analyse plus fine de cette variabilité et de ses conséquences en Afrique du nord et au Moyen Orient : voir Le Houérou (1959, 1969, 1984, 1986, 1989 a & b) et Donadieu (1977) pour le Maroc.

On a montré que la proportion de pluies utiles (supérieures à 5 mm en hiver et 10 mm en été) décroît avec l'aridité. Les pluies utiles représentent 60 à 80 % du total annuel dans la zone semi-aride, 40 à 60 % dans la zone aride et seulement 20 à 40 % dans la zone hyper-aride ; c'est là un facteur supplémentaire d'aridité (Le Houérou, 1969).

##### 5 - Amplitude thermique, continentalité et humidité relative

L'amplitude thermique varie de  $10^{\circ}\text{C}$  sur le littoral atlantique à  $40^{\circ}\text{C}$  dans les steppes continentales présahariennes. De façon générale, cette amplitude est corrélative du pouvoir évaporant de l'atmosphère et de l'ETP (Emberger, 1930, 1955, 1972) ; elle est également liée à l'humidité relative. La moyenne annuelle de celle-ci varie de 75-85 % sur le littoral atlantique, 65-75 % sur le littoral méditerranéen, 60 à 65 % dans les steppes continentales de la zone aride moyenne et supérieure, 35 à 40 % dans les steppes présahariennes de la zone aride inférieure continentale et au Sahara Septentrional.

L'amplitude thermique et l'humidité relative sont des critères bioclimatiques souvent sous-estimés ; ils revêtent cependant une importance considérable dont voici deux exemples. La culture commerciale des dattes de luxe exportables telles les "Deglet Nour" de Tunisie et d'Algérie implique de faibles humidités atmosphériques à la saison de maturation d'octobre à décembre, car si l'humidité relative moyenne dépasse 40 à 50 % les fruits fermentent sur l'arbre et ne présentent plus la qualité requise. Ce taux correspond sensiblement en Afrique du Nord non-océanique à l'isohyète annuelle de 100 mm (Le Houérou, 1955, 1959). Inversement, une humidité relative trop basse élimine un hyménoptère, hyper-parasite de la cochenille du palmier-dattier ; celle-ci, peut alors proliférer et la culture déperit, sauf à recourir à de coûteux traitements phytosanitaires.

Le développement de la culture de cactus inerme (Opuntia ficus-indica) ne peut se manifester dans les zones où l'humidité relative moyenne quotidienne descend au-dessous de 40 % pendant plus d'environ un mois (Monjauze & Le Houérou, 1965 ; Peyre de Fabrègues, 1966).

Le premier cas a causé la faillite de l'introduction de la datte "Deglet Nour" au Fezzan, le second l'insuccès de l'introduction du Cactus inerme dans certaines zones de l'Afrique du Nord, du Proche-Orient et de l'ensemble du Sahel ; ou, au contraire, le développement extraordinaire de cette plante dans certaines zones à humidité relative élevée (littoral océanique du Sud Marocain, Sidi Ifni, Anti-Atlas Occidental, ou de la côte méditerranéenne, Nador, Cap Bon, Basses et Hautes Steppes Tunisiennes).

La continentalité, exprimée soit par l'indice de Gorczinski soit par l'amplitude thermique moyenne extrême ( $M-m$ ), n'intervient que de façon indirecte en écoclimatologie par le biais des températures minima d'hiver ( $m$ ), l'amplitude thermique ( $M-m$ ) et l'humidité relative.

## 6 - Les seuils majeurs et les grandes zones écoclimatiques (Tableaux n° 2 et 5).

La zone aride nord-africaine comporte deux seuils majeurs qui peuvent en gros s'identifier à deux isohyètes moyennes annuelles : celle de 400 mm et celle de 100 mm.

L'isohyète de 400 mm (ou la valeur approximative de 0,25-0,30 de l'indice de xéricité ou du rapport P/ETP) correspond en Afrique du nord et au Proche et Moyen-Orient à la limite climatique supérieure des formations végétales steppiques (Le Houérou, 1959, 1969, 1972, 1975, 1982, 1984, 1988, 1989 ; Le Houérou & al., 1975, 1979 ; Pabot, 1967 ; Akman & Daget 1971 ; Danin & Plitmann, 1987 ; Zohary 1962, 1973, Long, 1954, 1957, etc.). Pour être tout à fait précis, il existe des formations forestières et dérivées au-dessous de l'isohyète de 400 mm ; mais il n'existe virtuellement pas de steppe au-dessus.

L'isohyète de 100 mm correspond sensiblement à la limite supérieure de la végétation saharienne ou hyper-aride caractérisée à la fois par la dominance d'espèces végétales et animales de la région biogéographique Saharo-Arabe et par une végétation distribuée sur le mode contracté sur les regs. Cet isohyète correspond aux valeurs 0,05 à 0,06 de l'indice de xéricité et du rapport P/ETP. Cette limite correspond également à un nombre assez élevé de solutions de continuité dans les faits géographiques, agraires, agronomiques et écologiques. Elle a été longuement discutée ailleurs ; nous y reviendrons néanmoins avec quelques détails.

### 6.1. - La zone semi-aride

La zone semi-aride se situe entre les isohyètes de 400 à 600 mm ; elle peut se subdiviser en semi-aride supérieur (500-600 mm) et semi-aride inférieur (400-500 mm). L'indice de xéricité et le rapport P/ETP sont compris entre 0,30 et 0,50 ; la longueur de la saison sèche est de 180 à 215 jours par an, autrement dit la saison pluvieuse dure 3 à 5 mois. L'indice de sécheresse de Budyko varie de 2,0 à la limite supérieure à 3,5 à la limite inférieure ; en d'autres termes le flux énergétique permet d'évaporer 2 à 3,5 fois les précipitations.

La végétation primitive est toujours de type forestier ; l'isohyète de 400 mm correspond sensiblement à la limite actuelle d'aridité des chênes (Q. ilex, Q. coccifera) et à un certain nombre d'autres espèces forestières tels le genévrier oxycède, le lentisque, les filaires etc.

L'agriculture se caractérise par des systèmes agraires mixtes agriculture-élevage et l'extension de l'arboriculture fruitière, de la viticulture et de la céréaliculture. Ces cultures sont fiables et rémunératrices avec des probabilités de récolte se situant entre 50 et 80 %.

Les processus d'érosion hydrique sont intenses, mais l'érosion éolienne peu prononcée ou localisée. Les sols zonaux sont bien développés et évolués, souvent à sesquioxides (mollisols, inceptisols) et rendzines (rendolls) ; les sols rouges calcaires sur croûte calcaire présentent une grande extension. L'ETP varie de 1 000 mm sur le littoral atlantique à 1 200 - 1 400 mm ailleurs.

### 6.2. - La zone aride s.s.

La zone aride s.s. s'étend entre les isohyètes de 100 à 400 mm, l'ETP varie de 1 000 mm sur le littoral atlantique à 1 400- 1 500 mm ailleurs. L'indice de xéricité et le rapport P/ETP varient de 0,05 à 0,30 ; la longueur de la saison sèche est de 9 à 11 mois ; la saison pluvieuse dure de 30 à 90 jours.

La végétation primitive est sans doute forestière ; elle a presque partout donné lieu à une dynamique régressive aboutissant à des steppes secondaires (Le Houérou, 1969). Il existe encore des zones nombreuses mais limitées de végétation forestière dans les zones arides de l'Atlas Saharien, de l'Anti-Atlas, de la Dorsale Tunisienne, et des Jebels Nefousa et Akhdar en Libye. Cette végétation forestière plus ou moins rélictuelle comprend essentiellement le Pin d'Alep, le Thuya de Berbérie, le Genévrier de Phénicie, le Romarin, des Cistes et d'autres compagnes forestières dont on peut rencontrer des vestiges jusque sous les isohyètes de 150-200 mm (Le Houérou, 1969). Dans le Sud Ouest Marocain subsiste en zone aride, le parc à Arganier qui occupe près de 600.000 hectares. Ce parc est d'ailleurs en voie de régression par suite de la surexploitation résultant d'une pression démographique qui s'accroît de manière exponentielle. Ce parc, perdrait actuellement 1 à 2 % de la superficie annuellement, depuis quelques années. Ces types de végétation plus ou moins forestière n'occupent pas

actuellement plus de 30 000 km<sup>2</sup> sur les 500 000 km<sup>2</sup> de la zone aride nord-africaine, soit 6 %. Les 470 000 km<sup>2</sup> restant sont occupés par des steppes à chaméphytes progressivement défrichées pour la culture aléatoire des céréales. Ces dernières et les jachères qui leur sont liées représentent probablement aujourd'hui plus de 250 000 km<sup>2</sup> c'est-à-dire, la moitié de la surface des zones arides. Cette proportion est considérable, car si on élimine les terres incultivables (sols rocheux, squelettiques, dunes, chotts, sebkhas) peut-être plus de 80 % des terres suffisamment meubles pour être cultivées le sont effectivement à un moment où à un autre en fonction des conjonctures pluviométriques automnales.

L'agriculture pluviale est aléatoire, la probabilité de récolte de céréales est comprise entre 10 et 50 % ; l'élevage, naguère nomade ou transhumant, complété par les cultures de céréales (orge et blé), constitue l'activité agricole essentielle. Mais une arboriculture pluviale ou de ruissellement s'est développée dans les basses plaines de Tunisie et de Libye sur des sols sableux profonds. Cette arboriculture aride occupe environ un million d'hectares en Tunisie et 200 000 en Libye. Les arbres sont essentiellement l'olivier, et accessoirement l'amandier, l'abricotier, le figuier, le pistachier, la vigne de table et le palmier en sec. L'espacement est très large (20 x 20 m à 25 x 25 m) pour l'olivier. La culture est pratiquée selon les techniques du "dry farming" sur les sols sableux profonds et selon les techniques de l'agriculture de ruissellement sur les sols plus limoneux (Meska, Menka, Seguia, Sedd, Jessour). Les techniques de dérivation d'oued sont aussi utilisées, notamment dans le Sud Algérien (Hodna) et Marocain (Anti-Atlas).

La géomorphologie est typique et identique à celle de toutes les zones arides chaudes du monde : trois à quatre glacis d'érosion emboîtés, hérités du Quaternaire ; ces glacis sont plus ou moins remaniés par l'érosion actuelle résultant de processus hydriques et éoliens. Les deux séries de processus sont généralement juxtaposées, la dominance de l'une ou de l'autre dépendant des conditions locales notamment des matériaux disponibles et de la pression anthropozoïque.

Les sols sont pauvres en matière organique 0,1 à 1,0 % et peu évolués : sols steppiques isohumiques, sierozem (inceptisols, aridisols, yermosols). Les sols azonaux comprennent d'importantes superficies de sols halomorphes, hydromorphes et même de vertisols (halorthids, alfisols, vertisols).

### 6.3 - La zone hyper-aride

La zone hyper-aride s'étend à tout le Sahara septentrional et occidental. Elle se caractérise par une pluviosité moyenne annuelle comprise entre 25 et 100 mm, un indice de xéricité et un rapport P/ETP de 0,03 à 0,06, la longueur de la saison sèche est de 12 mois ; il n'y a pas de saison pluvieuse à proprement parler, puisque les pluies sont aléatoires. Les périodes de croissance végétale sont fugaces, irrégulières et imprévisibles. Il convient toutefois de noter que les pluies surviennent toujours au cours du semestre hivernal, contrairement au Sahara Central ou Méridional. Les périodes de croissance végétale sont en moyenne inférieures à 30 jours par an.

Il n'y a plus d'agriculture non irriguée ni d'élevage sédentaire en raison de l'extrême irrégularité des précipitations (le coefficient de variation des pluies annuelles est, le plus souvent, de l'ordre de 80 à 100 %). Les pluies peuvent faire totalement défaut pendant plus d'un an, ce qui n'arrive en principe jamais dans la zone aride s.s. La végétation, de nature steppique ou de savane est disposée sur le mode contracté, au moins sur les regs et les sols squelettiques ; c'est-à-dire inféodée au réseau hydrographique et au ruissellement, ou à la présence d'une nappe phréatique.

Les systèmes agraires sont limités soit à l'élevage nomade ou transhumant, soit aux systèmes de production irrigués oasiens.

La géomorphologie comprend les mêmes éléments que la zone aride mais ici repris avec intensité et remodelés par les processus éoliens. Il n'y a pas de sols zonaux évolués, seulement des sols bruts climatiques liés soit à la déflation soit au dépôt éolien. Les processus d'érosion hydrique peuvent aussi revêtir une importance non négligeable mais seulement de façon intermittente lors de crues parfois violentes, mais longuement espacées dans le temps.

### 6.4. - La zone érémitique

La zone érémitique ne se rencontre qu'au Sahara Central et surtout dans sa portion orientale. Elle constitue le désert absolu caractérisé par des pluviosités négligeables et totalement aléatoires, les chutes pouvant intervenir en toute saison (contrairement au Sahara Septentrional à

pluies hivernales et au Sahara Méridional à pluies estivales). Les zones aréiques sont toutefois limitées au Sahara Oriental sous des pluviosités moyennes annuelles inférieures à 5 mm. En effet, on n'observe aucune trace de ruissellement actuel ni passé (en dehors de la proximité des massifs montagneux, bien entendu) dans les régions Koufra, Dakhla, Assouan, entre les méridiens de 19 à 35°E et les parallèles de 18 à 28°N. La végétation pérenne est exclusivement phréatophyte (notamment les *Hattya* du Fezzan, de Cyrénaïque et du Désert Libyque) ; elle est également plus ou moins halophile avec une dominance de salsolacées. Le Désert Libyque constitue avec le Désert Chilo-Péruvien, le Takla-Makan et le Désert Namibien, la zone la plus aride du globe ; mais ici cette aridité n'est en aucune façon atténuée par le voisinage d'un océan, ou de hautes montagnes.

#### 7 - Synthèse écoclimatique (Tableau n° 5)

La conjonction des critères brièvement analysés ci-dessus permet d'aboutir à une synthèse en combinant les paramètres d'aridité et ceux relatifs aux températures hivernales. Cette classification est ainsi calquée sur celle d'Emberger, mais va beaucoup plus loin dans l'analyse et la synthèse en raison de l'utilisation de critères multiples liés aux paramètres représentatifs du stress hydrique et du stress thermique hivernal. Cette synthèse est explicitée dans les tableaux n° 2 à 5 et dans les figures n° 2, 3, 5-29 et 30. Elle n'appelle pas de commentaires particuliers, outre ceux fournis lors de l'analyse des critères de classification.

#### 8 - Quelques applications pratiques de la classification écoclimatique

La classification écoclimatique adoptée ici offre tout d'abord un cadre rationnel aux recherches et au développement dans le domaine de l'agriculture, des forêts, de l'élevage, des pâturages ; ce cadre permet de planifier les actions et de comparer les résultats et de les interpoler ou de les extrapoler aux zones reconnues similaires dans la classification.

Elle offre en particulier un cadre utile au choix des espèces à cultiver ou à planter dans les travaux de reboisement ou de régénération des pâturages, ou en arboriculture fruitière.

Les dattiers de qualité produisant des fruits exportables ne peuvent se cultiver en dehors de la zone hyper-aride non littorale avec une pluviosité inférieure à 100 mm et un "m" inférieur à 5°C mais supérieurs à + 1° C. Les agrumes ne peuvent se cultiver de façon commerciale lorsque "m" est également inférieur à 5°C. Les *Acacias* sahariens ne se développent plus là où "m" est inférieur à 3°C ; il en est de même des *Acacias* exotiques à phyllodes utilisés dans la fixation des dunes et les plantations sylvo-pastorales. Les cactus inermes (*Opuntia ficus-indica*) ne se développent plus lorsque la pluviosité descend au-dessous de 150-200 mm avec des "m" inférieurs à 1,5-2,0 °C ; ces mêmes limites s'imposent à l'olivier. Le resemis des pâturages n'est possible que dans la zone aride supérieure à hivers frais à froids (ex. Midelt).

La limite de culture régulière des céréales correspond à celle séparant la zone aride de la zone semi-aride, c'est-à-dire l'isohyète de 350-400 mm.

La culture des pistachiers dont les possibilités sont grandes dans la zone aride nord-africaine ne peut se développer de façon satisfaisante dans les variantes écoclimatiques à hivers doux à chauds, du fait que la plante nécessite des froids hivernaux pour fructifier normalement.

Les variétés de luzerne à cycle long (Sonora, Moapa, Peruvian, San Joaquin, African, Indian, Gabès, Tagiura, El Unico etc.) ne produisent de bons résultats que dans les variantes à hivers doux à chauds ( $m > 5^{\circ}\text{C}$ ). Par contre, les luzernes à cycle court sont bien adaptées aux variantes à hivers frais à froid (Du Puits, Omega, Gamma, Flamande, etc.). Les variétés intermédiaires (Provence, Hunter River, W.L. 501, Demnate, etc..) produisent les meilleurs résultats dans les variantes à hivers tempérés à doux.

Les sainfoins cultivés (*Onobrychis*) produisent d'excellents résultats en culture pluviale dans les variantes à hivers frais à froid tandis que les Sullas (*Hedysarum*) nécessitent des hivers tempérés à chauds ( $m > 3$ ). On pourrait multiplier les exemples.

## 9 - Conclusions

On pourrait distinguer beaucoup d'autres nuances que les 60 combinaisons indiquées aux tableaux n° 4 et 5 ; en fonction, par exemple, du régime saisonnier des pluies (régime oriental, occidental, continental).

La présente étude constitue néanmoins un progrès par rapport aux travaux antérieurs en raison des critères rationnels et objectifs utilisés et de la nature pluridisciplinaire des instruments biologiques et éco-climatiques de validation des données numériques. Ces instruments sont ici explicités tant sur le plan de la flore, de la faune, de la végétation, de la répartition des cultures et des systèmes agraires, de la géomorphologie et des sols.

Sur le plan de l'éco-climatologie, on assiste depuis près d'un demi-siècle, à une transformation intense des milieux arides sous l'effet de la pression anthropozoiqque ; cette dernière, restée stable pendant des siècles a progressé de façon exponentielle depuis environ 1930. La population croît à raison de 3 % par an ; elle aura décuplé au cours du siècle. La pression sur les écosystèmes tend à suivre la courbe démographique ; elle est actuellement près de 10 fois supérieure à ce qu'elle était à la fin du 19ème siècle. Cette pression accrue pourrait, dans une certaine mesure, être absorbée par les écosystèmes qui, comme le parc à Arganier du Sud-Ouest Marocain, sont demeurés en équilibre pendant des siècles grâce à une gestion bien conduite. Mais ceux-ci, à leur tour, cèdent maintenant sous la pression ; l'arganeraie recule à raison de près de 2 % par an. C'est également, le taux de recul de la steppe devant les cultures dans l'ensemble de l'Afrique du Nord de l'Atlantique à la Mer rouge ; c'est aussi, à peu près le taux de recul des formations boisées. Les coûteux travaux de réafforestation et de fixation des dunes sont sans commune mesure avec les superficies dévastées tous les ans.

Si, comme le prévoient les scénarios basés sur les modèles de circulation globale de l'atmosphère, la température augmente de 3°C dans les 50 ans à venir, l'évapotranspiration potentielle croîtrait d'environ 200 mm par an sans qu'une augmentation des pluies vienne compenser ce déficit accru. L'aridité serait alors sensiblement accrue et les milieux encore fragilisés. Seuls des changements drastiques dans les méthodes de gestion de l'espace rural aride pourraient alors éviter une désertisation irrémédiable des zones arides nord-africaines.

## Remerciements

Je tiens à remercier ici M. André Carrière de l'atelier de dessin du CEFE pour la réalisation des figures et M. Denis Lacombe pour leur reproduction. Mes remerciements s'adressent également à Mmes Maryse Sophy et Olga Caggia pour le traitement et la reproduction du texte.

## 10 - Références citées

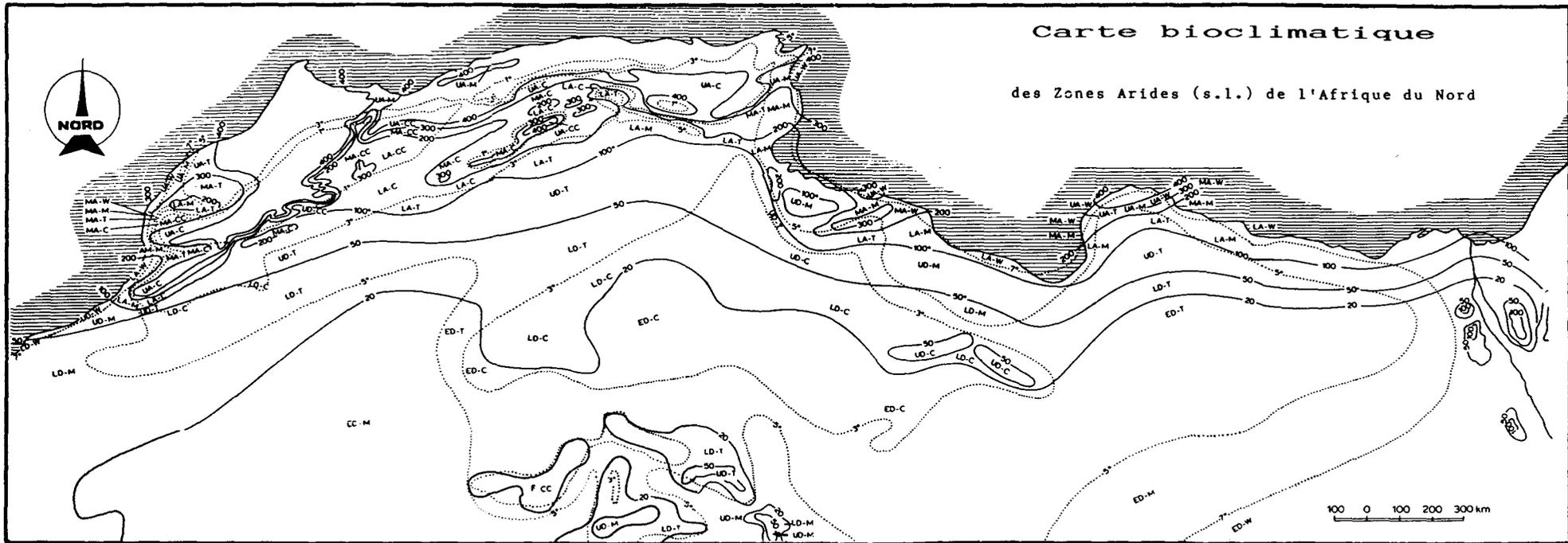
- Akman, Y. & Daget, Ph., 1971 - Quelques aspects synoptiques des climats de la Turquie. Bull. Soc. Languedoc de Géogr., 5,3 : 269-300
- Bagnouls, F. & Gaussen, H., 1953 - Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse, 88 : 193-239.
- Bagnouls, F. & Gaussen, H., 1957 - Les climats biologiques et leur classification. Ann. de Géogr., 66 : 193-220.
- Bagnouls, F. & Legris, P., 1970 - La notion d'aridité en Afrique du Nord et au Sahara. 12 p., 4 pl., 1 carte. Trav. Labor. Forest. Fac. des Sces de Toulouse : sér. 1, V : 1-12.
- Baldy, Ch., 1964 - Climatologie de la Tunisie Centrale. 84 p. multigr. 20 cartes h.t. 1/1.000 000, 38 tabl. FAO-INRAT, Tunis.
- Barry, J.P., Celles, J.C. & Manière, R., 1972, 1976, 1981 - Le problème des divisions bioclimatiques au Sahara algérien. Natur. Monspel., 23-24 : 5-48 ; 26 : 211-241 ; 44 : 1-48.
- Barry, J.P. & Riser, J., 1988 - Relations entre les bioclimats et la distribution de la végétation au centre et au nord-ouest du Sahara. In F. Di Castri, Ch. Floret, S. Rambal & J. Roy, édits : Time scale and water stress, pp. 13-25 ; The Internat. Union of Biolog. Sces, Paris.

- Budyko, M.I., 1958 - The heat balance of the earth's surface. 259 p., Transl. N.A.A. Stepanova, US Dept of Commerce, Washington, D.C.
- Budyko, M.I., 1974 - Climate and life. 608 p., Academic Press, N-Y.
- Calvet, C., 1964 - Le quotient pluviothermique de L. Emberger et l'évaporation. C.R. Soc. Hist. Nat. & Phys. du Maroc, 46 : 1-18.
- Calvet, C., 1971 - Le quotient pluviothermique d'Emberger et l'évaporation. La Météorologie, 53-57.
- Calvet, C., 1982 - Une diagnose de la végétation méditerranéenne basée sur le critère de l'évapotranspiration. Ecologia Mediterranea, VIII, 1-2 : 49-59.
- Chaumat, R., 1977 - Vers une analyse fine d'une limite bioclimatique et floristique : la limite septentrionale du Sahara au Maroc. Doc. Cartographie Ecologique, XIX : 77-103.
- Chaumont, M. & Paquin, C., 1971 - Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000ème, not. 24 p., Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afr. du Nord.
- Coquillard, P., 1982 - Approche phytoécologique d'une enclave saharienne au Maroc Oriental : Le Tafilalet. 170 p. Thèse 3ème cycle, Univ. de Nice.
- Daget, Ph., 1971 - Le quotient pluviothermique d'Emberger et l'évaporation globale. Bull. Rech. Inst. Agron. Gembloux, n° h.s. : 87-103.
- Danin, A., 1972 - Mediterranean elements in the rocks of the Negev and Sinai deserts. Not R. Bot. Gard. Edinburgh, 31 : 437-440.
- Danin, A., 1988 - Flora and vegetation of Israel and adjacent areas. in Y. Yom-Tov & E. Tcherkov, eds., The zoogeography of Israel. pp. 129-158, Junk, Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- Danin, A. & Plitman, U., 1987 - Revision of the plant geographical territories of Israel and Sinai. Pl. Syst. Evol., 156, 43-53.
- De Martonne, E., 1926 - L'indice d'aridité. Bull. Assoc. Géogr. Franç., 8.
- De Martonne, E., 1927 - Traité de géographie physique, vol. I : Notions générales, climat, hydrographie. 496 p., vol. III : Biogéographie, 477 p., A. Colin, Paris
- Donadieu, P., 1977 - Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéographique du Maroc. 155 p. multigr. Inst. Agron. & Vétérin. Hassan II, Rabat.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O., 1975 - Crop water requirement. 179 p. irrigation and drainage paper n° 24, FAO, Rome.
- Dubief, J., 1953 - Essai sur l'hydrologie superficielle du Sahara, 475 p., 41 figs, 3 cartes, typo-litho, Alger.
- Dubief, J., 1959/63 - Le climat du Sahara. Vol. I : 312 p., 1959 ; Vol. II : 275 p., 1963. Mem. h.s., Inst. Rech. Sahar., Univ. Alger.
- Dubief, J., 1968 - Les subdivisions climatiques du Sahara. Progres. Biol. Internat., sect. C.T., Réunion technique ; Hammamet, Tunisie, pp. 133-192.
- Dubief, J., 1971 - Die Sahara, eine klima-wüste. in H. Schiffers, edit. : Die Sahara und ihre randgebiete. Band 1 : Physiogeographie, pp. 226-348 ; Weltforum Verlag, München.
- Emberger, L., 1930 a - Sur une formule applicable en géographie botanique. C.R. Acad. Sces, 191 : 389-390
- Emberger, L., 1930b - La végétation de la région méditerranéenne : essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Génér. de Bot., 42 - 641-662, 705-721.
- Emberger, L., 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Mém. h.s., Soc. Sc. Nat. du Maroc : 40-157 (Veröff Geobot., Inst. Rübel, Zurich).
- Emberger, L., 1938 - La définition phytogéographique du climat désertique. Mém. Soc. Biogéogr., 6:9-14.
- Emberger, L., 1943 - Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse, 78, 3 : 159-180.
- Emberger, L., 1955 - Une classification biogéographique des climats Natur. Monspel., Sér. Bot., 7:3-42.
- Emberger, L., 1972 - Travaux de botanique et d'écologie. Volume jubilaire : Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. pp. 291-301, Masson, Paris.
- Emberger, L., Gaussen, H., Kassas, M. & de Philippis, A., 1963 - Carte bioclimatique de la région méditerranéenne. 60 p., 1 carte coul. 1/5 000 000ème, 2 feuilles, FAO, Rome & Unesco, Paris.
- Emberger, L., Gaussen, H., Kassas, M., de Philippis, A., Lalande, P., Bagnouls, P. & al., 1969 - Carte de la végétation méditerranéenne. 90 p., 1 carte coul. 1/5 000 000ème, 2 feuilles, FAO, Rome & Unesco, Paris.

- Floret, Ch. & Pontanier, R., 1982 - L'aridité en Tunisie présaharienne. 544 p., Trav. & Documents, n° 150, ORSTOM, Paris.
- Francllet, A. & Le Houérou, H.N., 1971 - Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord. 244 p., 25 tabl., 27 fig., 50 phot., FO, FAO, Rome.
- Gaussen, H., 1954 - Théorie de classification des climats et microclimats. Cpte-Rend. VIIIème Congr. Internat. de Bot., Sect. 7 : 125-130.
- Gaussen, H. & Bagnouls, F., 1954 - Carte des précipitations de l'Algérie (1913-1947). 4 feuilles 1/500 000ème. Serv. de l'Hydraulique, Minist. des Trav. Publ., Alger & Fac. Sces, Toulouse.
- Gaussen, H., Bagnouls, F. & Roux, G., 1954 - Carte des précipitations du Maroc (1925-1950). 6 feuilles 1/500 000ème. Minist. Agric. et Forêts, Trav. Publ., Educat. et Industries-Product. Minière, Rabat & Fac. Sces Toulouse. voir aussi réduction au 1/2 000 000, feuille 4a, Atlas du Maroc, Comité de Géographie du Maroc, Rabat, 1958-1963.
- Gaussen, H. & Vernet, A., 1954 - Carte des précipitations de la Tunisie (1900-1940). 2 feuilles coul. 1/500 000ème. Serv. Bot. et Agron., minist. de l'Agric., Tunis & Fac. des Sces, Toulouse.
- Gaussen, H. & Vernet, A., 1958 - Carte internationale du tapis végétal. Feuille de Tunis-Sfax 1/1 000 000ème, Bull. Serv. Cartes Phytogéogr., Sér. A, 3 (2), 34 p., CNRS, Paris.
- Gounot, M., 1959 - Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie. Ann. Serv. Bot. et Agron., 31 : 1-282 (1958).
- Gounot, M. & Le Houérou, H.N., 1959 - Carte bioclimatique de la Tunisie. 1 feuille 1/2 000 000ème. (Rééditions couleurs 1/500 000, Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie, 41, 1 : 1968 ; et 1/1 000 000 1988 ; CEPE, Montpellier).
- Griffiths, J.G., 1972 - The climate of Africa. 604 p. in H.E. Landsberg, edit. : World Survey of Climatology, vol. 10, Elsevier, Amsterdam.
- Guinet, Ph., 1958 - Notice détaillée de la feuille de Beni-Abbès de la Carte de la Végétation de l'Algérie au 1/200 000ème. Bull. Carte Phytogéogr. Sér. A III, 1 : 21-96.
- Köppen W. & Geiger, R., 1930 - Handbuch der Klimatologie. T.I. Allgemeine Klimatologie, Vol. I, Gebücher Borntraeger, Berlin.
- Landsberg, H.E., Lippmann, T., Paffen, K.H. & Troll, C., 1965 - World maps of climatology. 28 p., 5 col. maps. Springer Verlag, Heidelberg.
- Lecompte, M., 1986 - Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen Atlas central. 202 p. ; 34 tabl., 73 fig., 1 carte coul. 1/200 000, Mémoires et Documents de Géographie ; Nouvelle Collection, Presses du C.N.R.S., Paris.
- Le Houérou, H.N., 1955 - Contribution à l'étude de la végétation de la région de Gabès. Ann. Serv. Bot. & Agron. de Tunisie, 28 : 141-180 ; 1 carte couleur h.t. 1/200 000ème.
- Le Houérou, H.N., 1958a - Ecologie, phytosociologie et productivité de l'olivier en Tunisie méridionale. Bull. Cartes Phytogéogr., sér. B, 1:7-72, CNRS, Paris.
- Le Houérou, H.N., 1958b - Contribution à l'étude écologique de l'olivier en Tunisie. 89 p., 7 cartes de potentialités oleicoles au 1/200 000ème. Instit. de Sces Econ. Appliquées, Paris-Tunis.
- Le Houérou, H.N., 1959 - Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Mém. h.s., Inst. Rech. Sahar. Univ. d'Alger, vol. I : 281 p., vol. II : 228 p., Annexes : 33 tableaux et 4 cartes h.t. 1/2 000 000ème.
- Le Houérou, H.N., 1960 - Contribution à l'étude des sols du Sud Tunisien. Ann. Agron., 11, 3 : 241-309.
- Le Houérou, H.N., 1962a - Les pâturages naturels de la Tunisie aride et désertique. 106 p., Inst. Sces Econ. Appl., Paris.
- Le Houérou, H.N., 1962b - Recherches sur les caractères hydriques des sols de Sologne et leurs rapports avec la composition du tapis végétal. 131 p., 5 fig. h.t., CEPE, CNRS, Montpellier.
- Le Houérou, H.N., 1965 - Improvement of natural pastures and fodder resources ; report to the Government of Libya. 51 p., 9 figs, Rept. EPTA n° 1979, AGP, FAO, Rome.
- Le Houérou, H.N., 1968 - La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. 30 p. Progr. Biol. Internat., Sect. C.T., Colloque de Hammamet sur la Conservation de la Nature dans le Bassin Méditerranéen. aussi : Ann. Algériennes de Géographie, 6 : 2-27.
- Le Houérou, H.N., 1969 - La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). Ann. Inst. Nat. de la Rech. Agron. de Tunisie, 42 (5) : 1-624, 1 carte coul. 1/500 000ème (128 000 km<sup>2</sup>) 58 tabl., 28 fig., 40 phot.

- Le Houérou, H.N., 1970 - North Africa : past present, future. in H.E. Dregne, edit. : Arid lands in transition. Americ. Assoc. for the Adv. of Sce, Washington, D.C.
- Le Houérou, H.N., 1971a - Les bases écologiques de l'amélioration de la production fourragères en Algérie I : Bioclimatologie et cultures fourragères, 60 p., AGP, FAO, Rome.
- Le Houérou, H.N., 1971b - L'écologie végétale dans la région méditerranéenne. 60 p. polycop., cours professé à l'Inst. Agron. Médit. Centre Intern. de Hautes Etudes Agron. Méditerranéennes, Bari.
- Le Houérou, H.N., 1972 - L'ecologia vegetale nella regione mediterranea, parte 1 : i fattori climatici. Minerva biologica, 1, 3 : 123-134.
- Le Houérou, H.N., 1973 - Ecological foundations to range development in Western Libya. 20 p., AGP, FAO, Rome.
- Le Houérou, H.N., 1975a - Le cadre bioclimatique des recherches sur les herbages méditerranéens. I Georgofili, XXI, 7 (suppl.) : 57-67.
- Le Houérou, H.N., 1975b - Report on a consulting mission to the range organization of Iran. 13 p., AGP, FAO, Rome.
- Le Houérou, H.N., 1976 - The nature and causes of desertization. Arid Zone Newsletter, 3, 1-17, Office of Arid Land Studies, Univ. of Arizona, Tucson, Az. Also in M. H. Glantz, edit. : Desertification : environmental degradation in and around arid lands. pp. 17-38, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Le Houérou, H.N., 1979 : La désertisation des zones arides. La Recherche, 99 : 336-344.
- Le Houérou, H.N., 1982 - The arid bioclimates in the mediterranean isoclimatic zone. Ecologia mediterranea, VIII, 1-2 : 103-114.
- Le Houérou, H.N., 1982/1984 - An outline of the bioclimatology of Libya. Bull. Soc. Bot. de France, Actualités Botan. 2/3/4 : 157-178.
- Le Houérou, H.N., 1986a - The desert and arid zones of Northern Africa. in M. Evenari, D.W. Goodall, & I. Noy-Meir, edits : Hot deserts and arid shrublands, pp. 101-147, Ecosystems of the World, vol. 11B, Elsevier Amsterdam.
- Le Houérou, H.N., 1986b - La variabilité de la pluviosité annuelle dans quelques régions arides du monde et ses conséquences écologiques. In B. Bret, Coord., 1989 : "Les hommes face aux sécheresses Nordeste brésilien et Sahel africain", pp. 127- 137, Coll. Travx. & Mém. n° 42, IHEAL, Paris.
- Le Houérou, H.N., 1988 - Interannual variability of rainfall and its ecological and managerial consequences on natural vegetation, crops and livestock. in F. Di Castri, Ch. Floret, S. Rambal & J. Roy, édits. Time scales and water stress. pp. 323-246. The Internat. Union of Biolog. Sciences, Paris.
- Le Houérou, H.N., 1989a - Bioclimatologie comparative des zones arides de l'Afrique et de l'Amérique latine. 29 p., MAB ; Atelier Bicontinental sur la gestion des écosystèmes arides, Coquimbo, Chili, Avril 1989., UNESCO, Paris : sous presse.
- Le Houérou, H.N., 1989b - Relations entre la variabilité des précipitations et celles de la production primaire et secondaire en zone aride. 25 p., in M. Grouzis, E. Le Floc'h, J.C. Bille et A. Cornet, édits : "L'aridité : contrainte au développement". Réseau Zone Aride, CNRS/ORSTOM, Paris, sous presse.
- Le Houérou, H.N., Bingham R.E. & Skerbek, W., 1988 - Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands J. of Arid Envir., 15 : 1-18.
- Le Houérou, H.N., Claudin, J., Donadieu, P. & Haywood, M., 1975 - Etudes phytoécologique du Hodna (Algérie). 154 p., 14 fig., 22 tabl., 1 carte coul. h.t., 3 feuilles 1/200 000ème (25 000 km<sup>2</sup>), AGO, FAO, Rome.
- Le Houérou, H.N., Claudin, J. & Pouget, M., 1977/79 - Etude bioclimatique des steppes algériennes. Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afr. du Nord, 3-4 : 33-74, 8 fig., 5 tabl. h.t., 3 cartes h.t. 1/1 000 000ème.
- Le Houérou, H.N., & Popov, G.F., 1981 - An ecoclimatic classification of intertropical Africa. 40 p., 3 maps, 5 figs, 8 tables, Plant Production and Protection Paper n° 31, FAO, Rome.
- Long, G.A., 1954 - Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. Ann. Serv. Bot. & Agron. de Tunisie, 42 - 1-388.
- Long, G.A., 1957 - The bioclimatology and vegetation of Eastern Jordan. 97 p., 1 map., AGPC, FAO, Rome.
- Monjauze, A. & Le Houérou, H.N., 1965 - Le rôle des Opuntia dans l'économie agricole nord-africaine. Bull. Ecole Nat. Sup. d'Agronomie de Tunis, 8-9 : 85-164.

- Nègre, R., 1959 - Recherches phytogéographiques sur l'étage méditerranéen aride (sous-étage chaud) au Maroc occidental. 385 p., 15 cartes h.t. & 6 Table., Trav. Inst. Sc. Chérif. Sér. Bot. n° 13, Rabat.
- Nègre, R. & Peltier, J.P., 1976 - Première observations sur la végétation du bassin de l'Argana (Maroc). Feddes Repert., 87, 1-2 : 49-81.
- Pabot, H., 1967 - Pasture development and range improvement through botanical and ecological studies. Report to the Government of Iran. 146 p., 1 map, EPTA, Report n° 2311, AGP, FAO, Rome.
- Peltier, J.P., 1982 - La végétation du bassin versant de l'Oued Sous (Maroc). 201 p., Thèse Doct. Sces, Univ. Sc. & Med. de Grenoble.
- Peltier, J.P. & Riser, J., 1974 - Introduction à l'étude géomorphologique et géobotanique du massif du Siroua. CNRS, Trav. RCP 249, 2, 159 : 159-174.
- Penmann, H.L., 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceed. Roy Soc., A, 193 : 120-146.
- Peyre, C., 1977 - Recherches sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou-Iblane (Moyen Atlas oriental, Maroc). 149 p. Thèse de 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille III, St Jérôme.
- Peyre de Fabrègues, B., 1966 - Les cactées fourragères dans le Nord-Est brésilien (étude écologique). 80 p. multigr., Inst. Elev. et Méd. Vétér. Pays Tropic, Maisons-Alfort.
- Quézel, P., 1965 - La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. 333 p., Fisher Verlag, Stuttgart.
- Quézel, P., 1971 - Flora und vegetation die Sahara. in H. Schiffers, edit. : Die Sahara und ihre randgebiete, vol. I, pp. 429-475. Weltforum Verlag, München.
- Quézel, P., 1978 - Analysis of the flora of the mediterranean and saharan Africa. Ann. Missouri Botan. Gard., 65 : 475-534.
- Quézel, P., 1983 - Flore et végétation actuelles de l'Afrique du Nord, leur signification en fonction de l'origine, de l'évolution et des émigration des flores et structures de végétation passées. Compte-rendu Xème Congr. de l'AETFAT, Pretoria, 1982. Bothalia, 14, 3-4 : 411-416.
- Riser, J., 1978 - Le Jbel Sahrhro et sa retombée saharienne, étude géomorphologique. 450 p. Thèse lettres, Univ. Aix-en-Provence.
- Sauvage, Ch., 1963 - Etages bioclimatiques. 44 p., 1 carte coul. 1/200 000ème, feuille n° 6 b, Atlas du Maroc, Comité Géographique du Maroc, Rabat.
- Seltzer, P., 1946 - Le climat de l'Algérie. 219 p. Carbonnel, Alger.
- Stewart, Ph., 1968 - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afr. du Nord, 59, 1-4 : 23-36.
- Stewart, Ph., 1975 - Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afr. du Nord., 65, 1-2 : 239-245.
- Thorntwaite, C.W., 1948 - An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 1 : 55-94.
- Uchijima, Z. & Seino, H., 1987 - Distribution maps of Net Primary Productivity of Natural vegetation and related climatic elements on continents. 102 p., Div. of Agrometeor, Natl. Inst. of Agro-Environ. Sces, Yatabe, Ibaraki, Japan.
- Unesco, 1979 - Carte de répartition mondiale des zones arides. 55 p., 1 carte coul. 1/25 000 000ème. Note Techn. n° 7, MAB, Unesco, Paris.
- Walter, H. & Lieth, H., 1960 - Klimadiagramm Weltatlas. Ca 100 pl., G. Fisher Verlag, Iena.
- Walter, H., Harnickel, E. & Muller-Dombois, D., 1975 - Climate diagramme maps of the individuals continents and the ecological climatic regions of the earth. Supplement to Vegetation Monographs, 36 p., 9 maps, 1/8 000 000ème, Springer Verlag, Heidelberg.
- Zohary, M., 1962 - Plant life of Palestine. 262 p. Ronald Press, N-Y.
- Zohary, M., 1973 - Geobotanical foundation of the Middle East. 2 vols, 739 p., Fisher Verlag, Stuttgart.



### LÉGENDE

UA - Upper Arid (300 < P < 400 mm)  
 MA - Middle Arid (200 < P < 300)  
 LA - Lower Arid (100 < P < 200)  
 UD - Upper Desertic (50 < P < 100)  
 LD - Lower Desertic (25 < P < 50)  
 E - Eremitic (P < 25)

vc - Very Cold Winters (m < -1°C)  
 cc - Cold Winters (- < m < +1)  
 c - Cool Winters (+1 < m < 3)  
 t - Temperate Winters (3 < m < 5)  
 m - Mild Winters (5 < m < 7)  
 w - Warm Winters (7 < m < 9)  
 ww - Very Warm Winters (9 < m)

Figure 2. Carte bioclimatique des zones arides de l'Afrique du nord (Le Houérou, 1970).

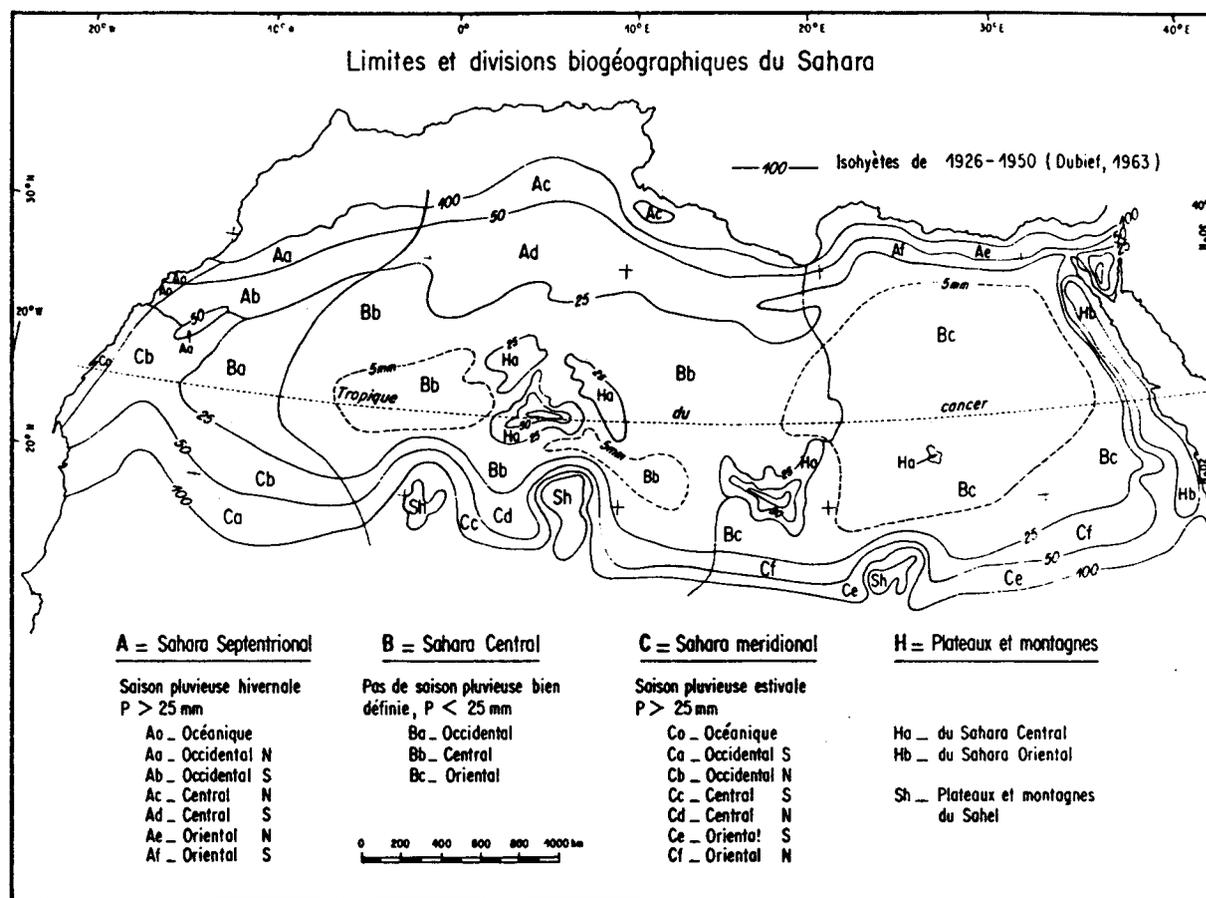


Figure 3. Limites et subdivisions biogéographiques du Sahara.

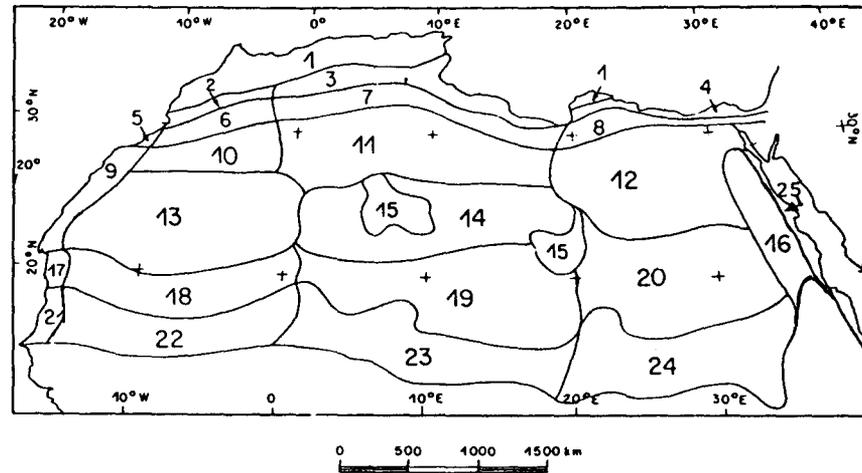


Figure 4. Schéma des grandes subdivisions des zones arides nord-africaines et des territoires limitrophes (partiellement inspiré de Quézel, 1978).

- 1 - Zone méditerranéenne semi-aride à per-humide
- 2 - Zone steppique occidentale
- 3 - Zone steppique centrale
- 4 - Zones steppique orientale
- 5 - Zone océanique de transition au Sahara Septentrional
- 6 - Sahara Septentrional Occidental
- 7 - Sahara Septentrional Central
- 8 - Sahara Septentrional Oriental
- 9 - Sahara Central Océanique
- 10 - Sahara Central du Nord-Ouest
- 11 - Sahara Central du Nord
- 12 - Sahara Central du Nord-Est
- 13 - Sahara Central Occidental
- 14 - Sahara Central
- 15 - Sahara Central Altimontain
- 16 - Sahara Oriental Altimontain
- 17 - Sahara Méridional Océanique
- 18 - Sahara Méridional Occidental
- 19 - Sahara Méridional Central
- 20 - Sahara Méridional Oriental
- 21 - Sahel Océanique
- 22 - Sahel Occidental
- 23 - Sahel Central
- 24 - Sahel Oriental
- 25 - Sahara Erythréen (Rivages de la Mer Rouge).

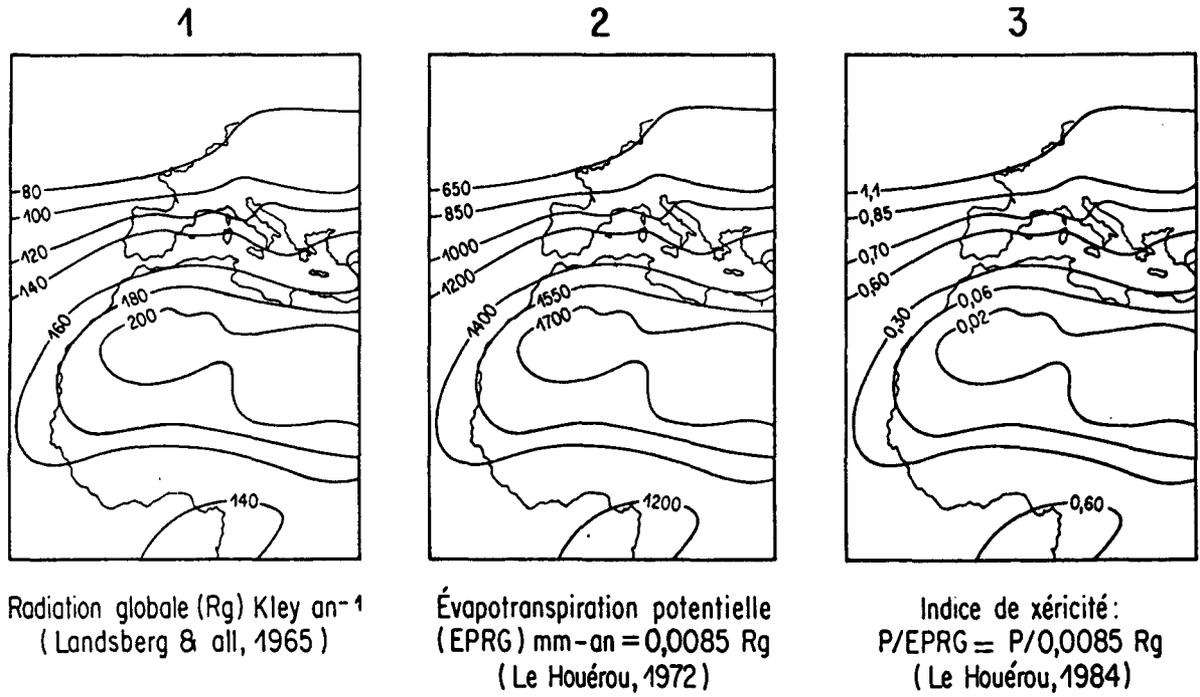


Figure 5 a. Radiation globale, évapotranspiration potentielle et indice de xéricité annuels en "Eur-Afrique" occidentale.

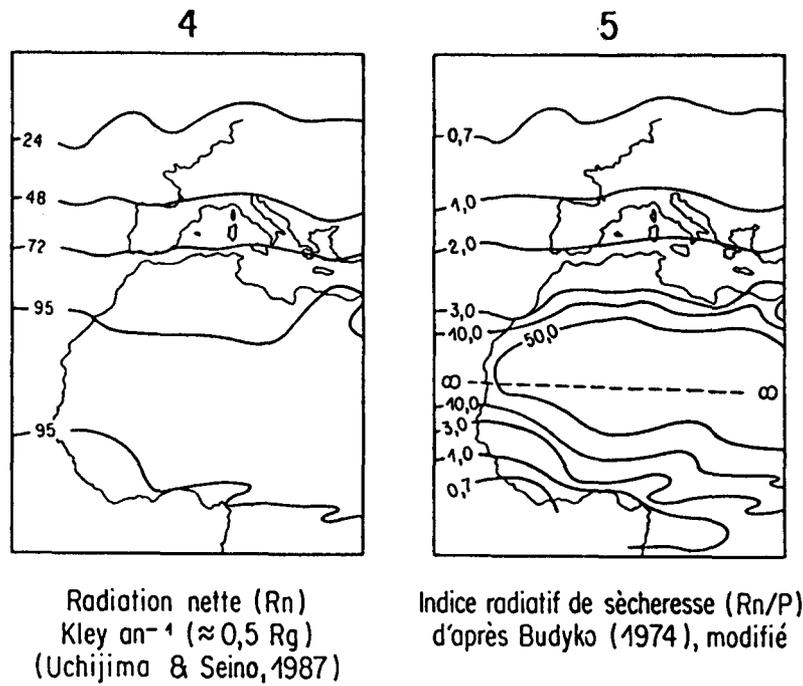


Figure 5 b. Radiation nette et indice de sécheresse en "Eur-Afrique" occidentale.

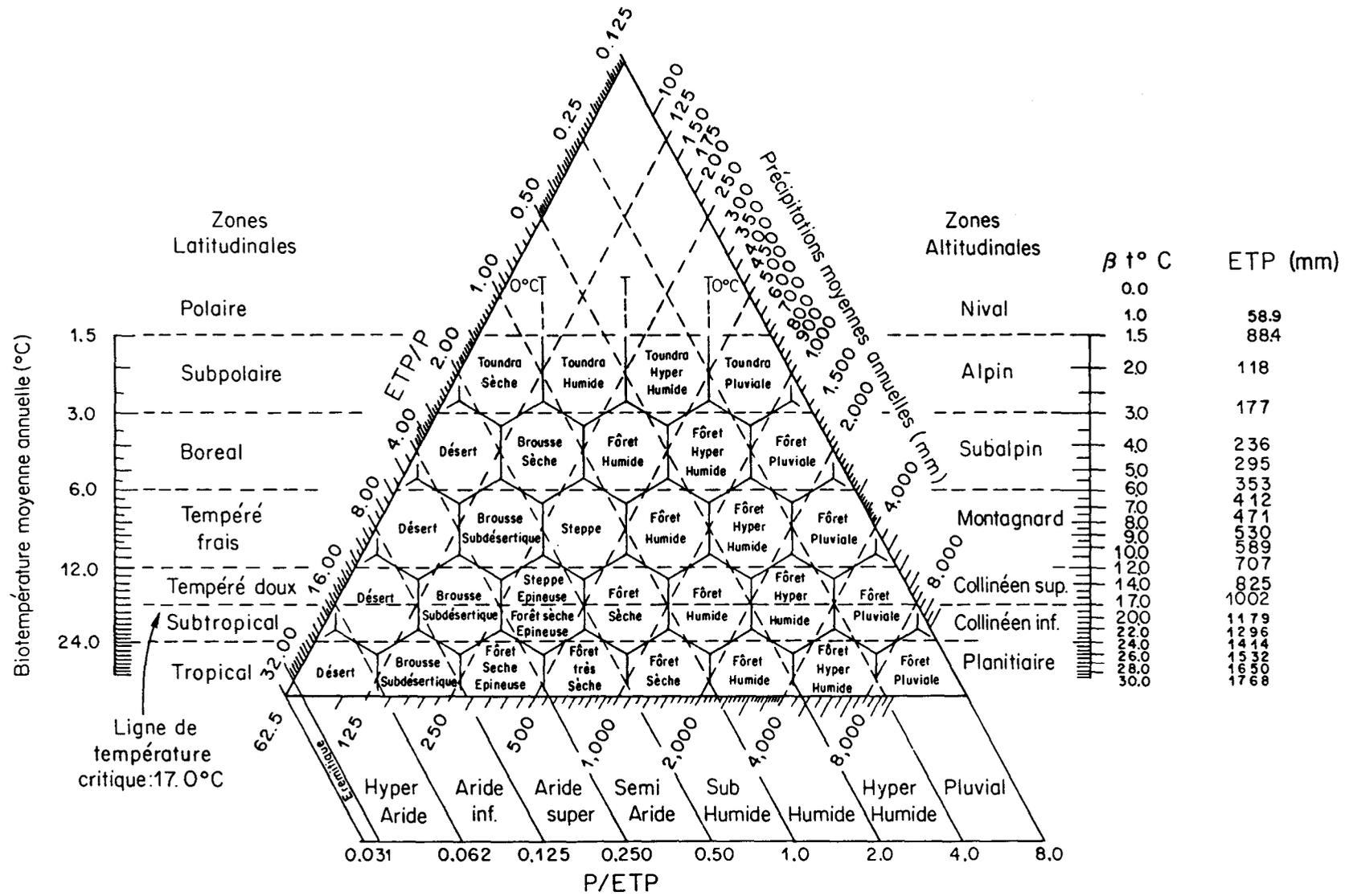
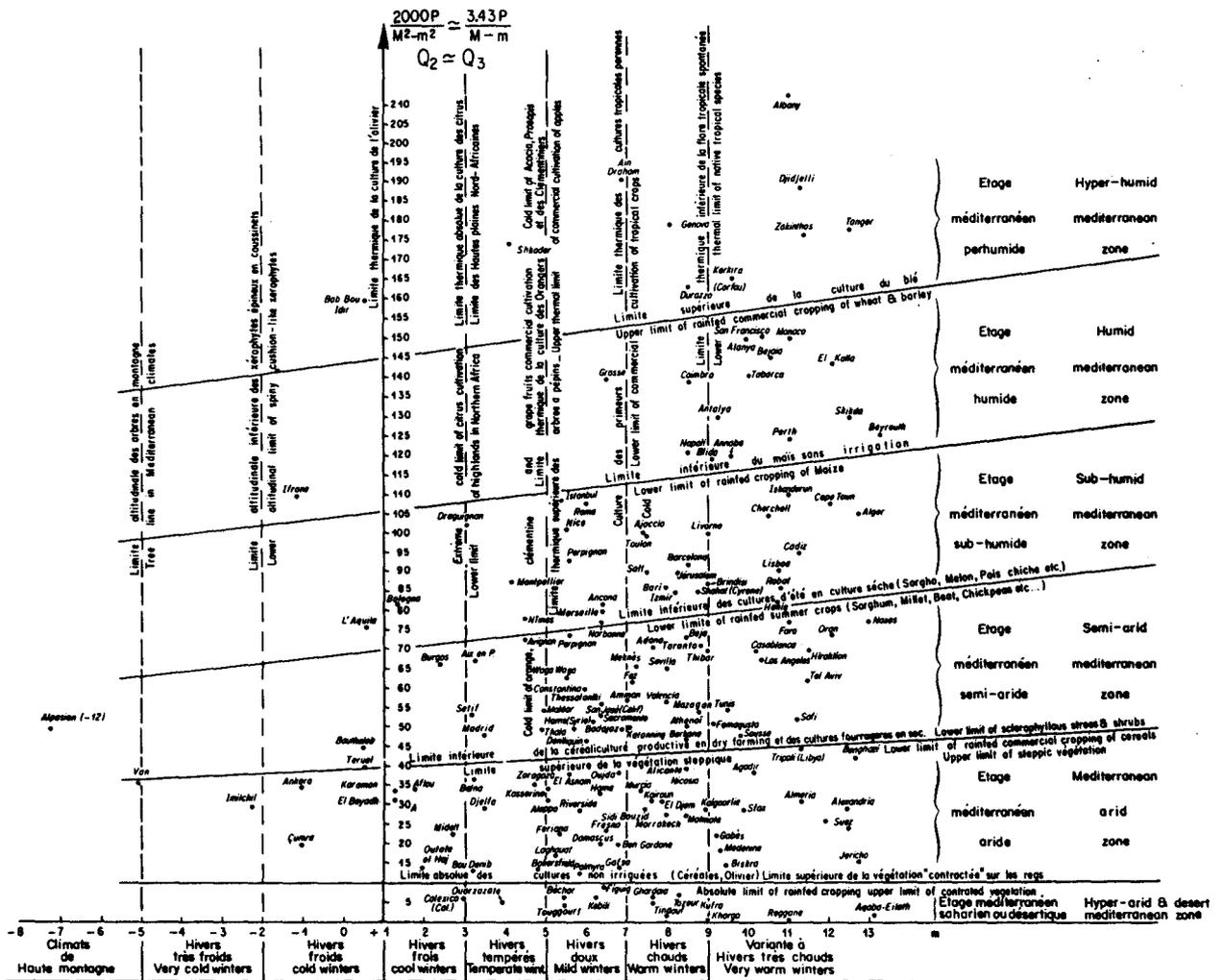


Figure 6. Matrice de classification écoclimatique à l'échelle mondiale, selon Holdridge (1947).





ZONES ISOCLIMATIQUES MÉDITERRANÉENNES DANS L'HYPOTHÈSE D'UN ACCROISSEMENT DES TEMPERATURES DE 3.0°C ± 1.5 INDUIT PAR CO<sup>2</sup> VERS L'ANNÉE 2050.

MEDITERRANEAN ISOCLIMATIC ZONING IN THE ASSUMPTION OF CO<sup>2</sup> INDUCED RAISE OF 3.0°C ± 1.5 IN TEMPERATURE TOWARDS THE YEAR 2050. (LE HOUEROU 1988)

Figure 7 b. Classification de l'aire isoclimatique méditerranéenne selon la méthode d'Emberger, dans l'hypothèse d'une élévation de la température moyenne annuelle de 3 °C, résultant du doublement de la teneur de l'atmosphère en CO<sup>2</sup> et autres gaz réchauffants vers l'an 2050 (700 ppmv).

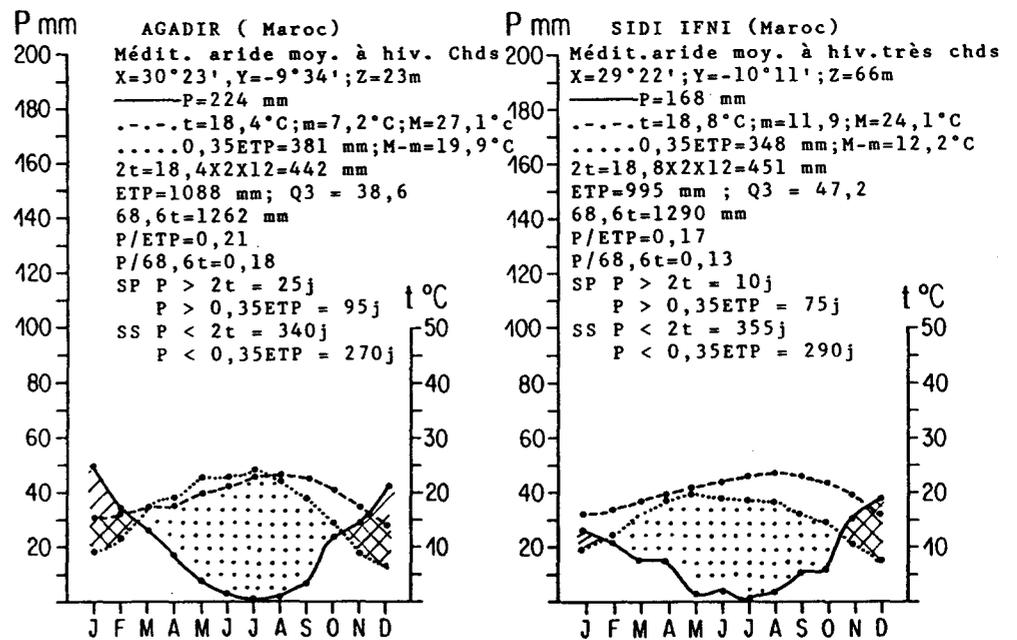
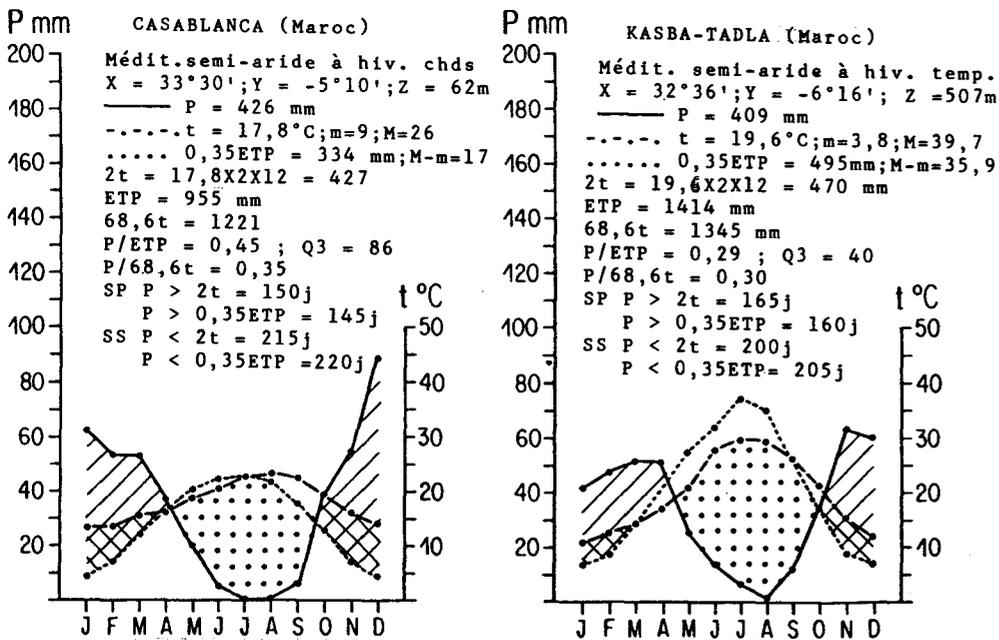
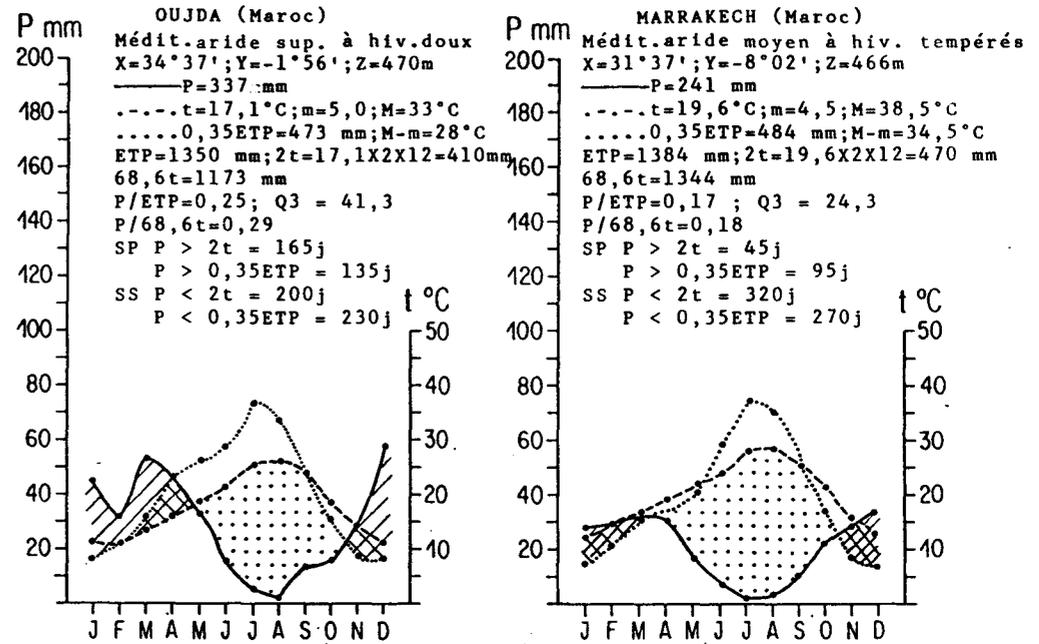
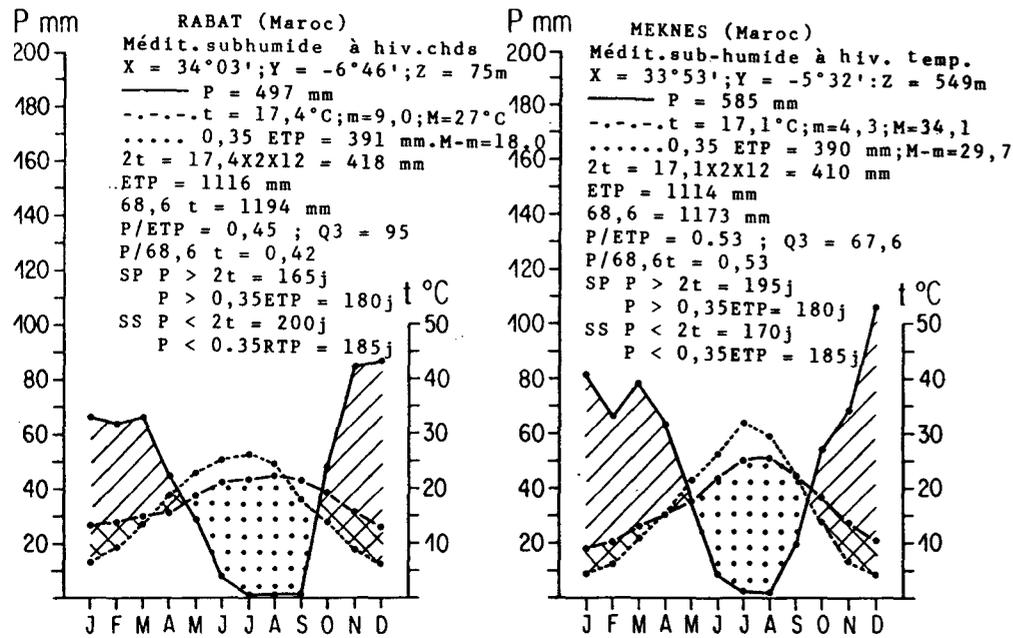


Figure 8. Courbes ombrothermiques et ombrodrynes, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 9. Courbes ombrothermiques et ombrodrynes, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

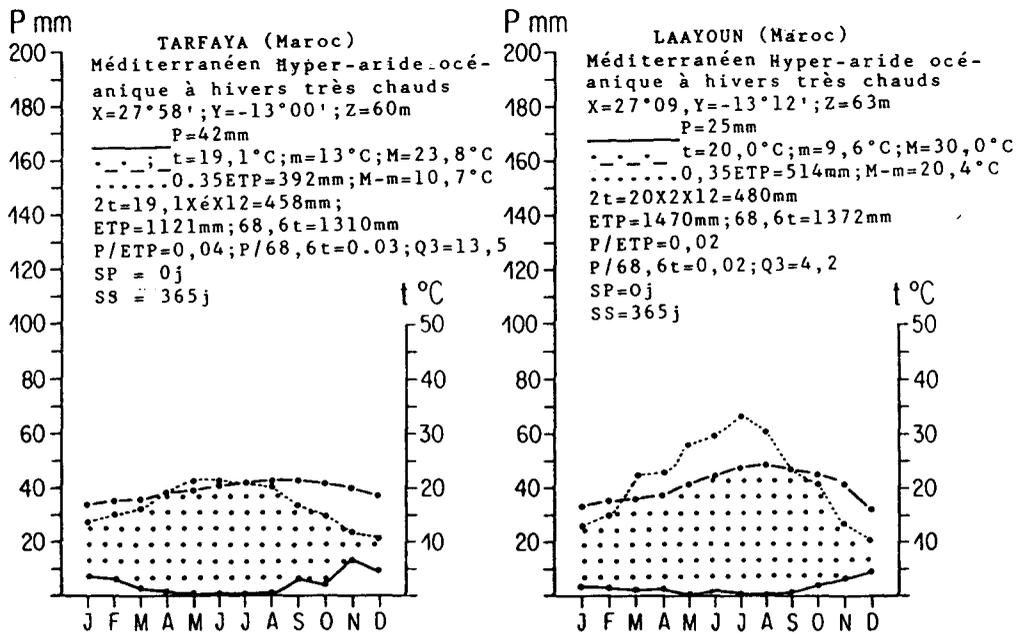
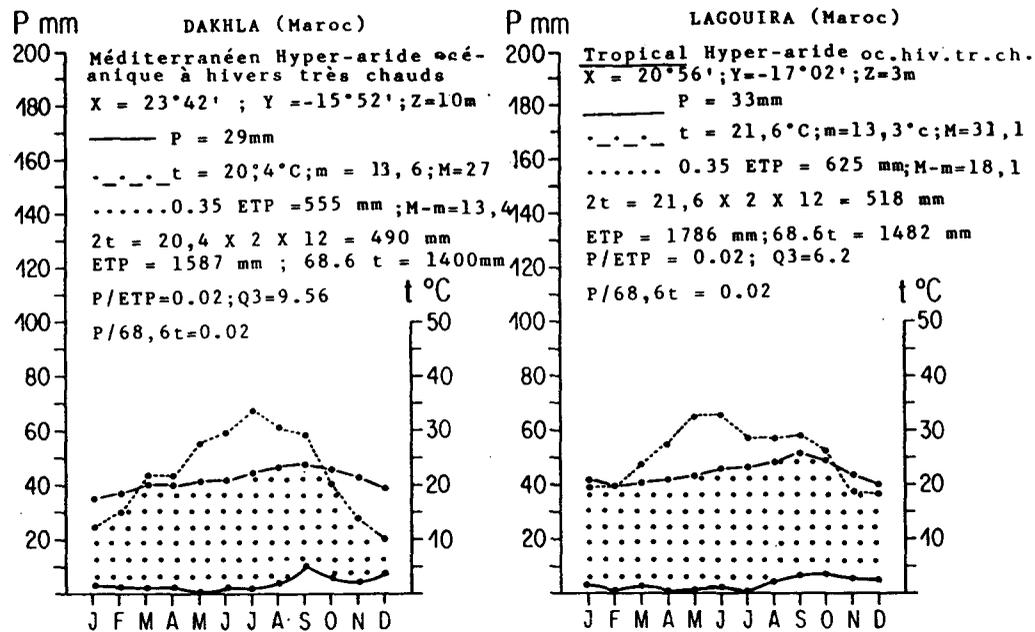
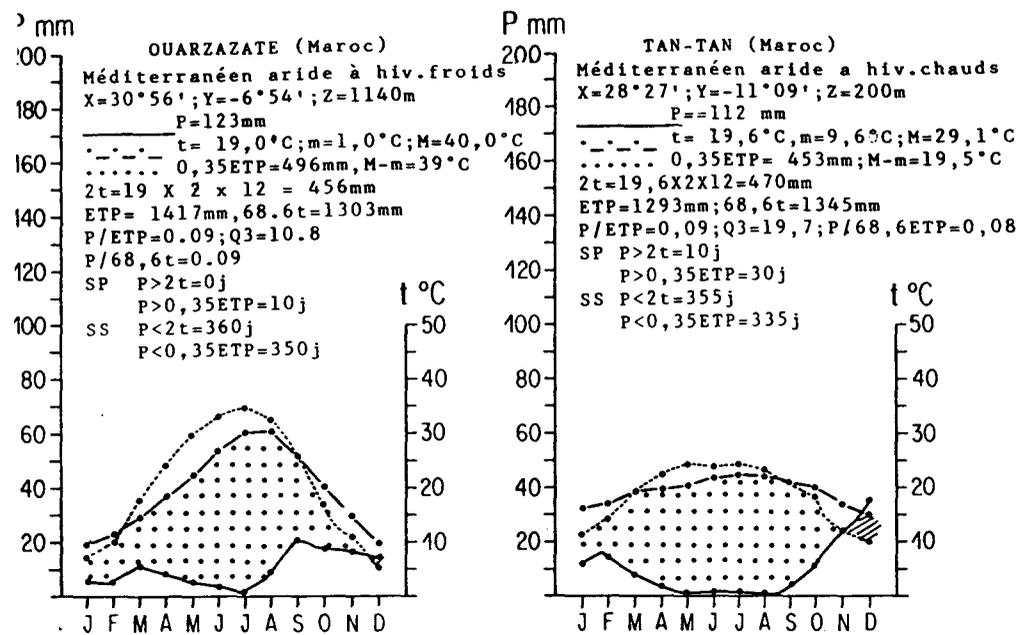


Figure 11. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 10. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

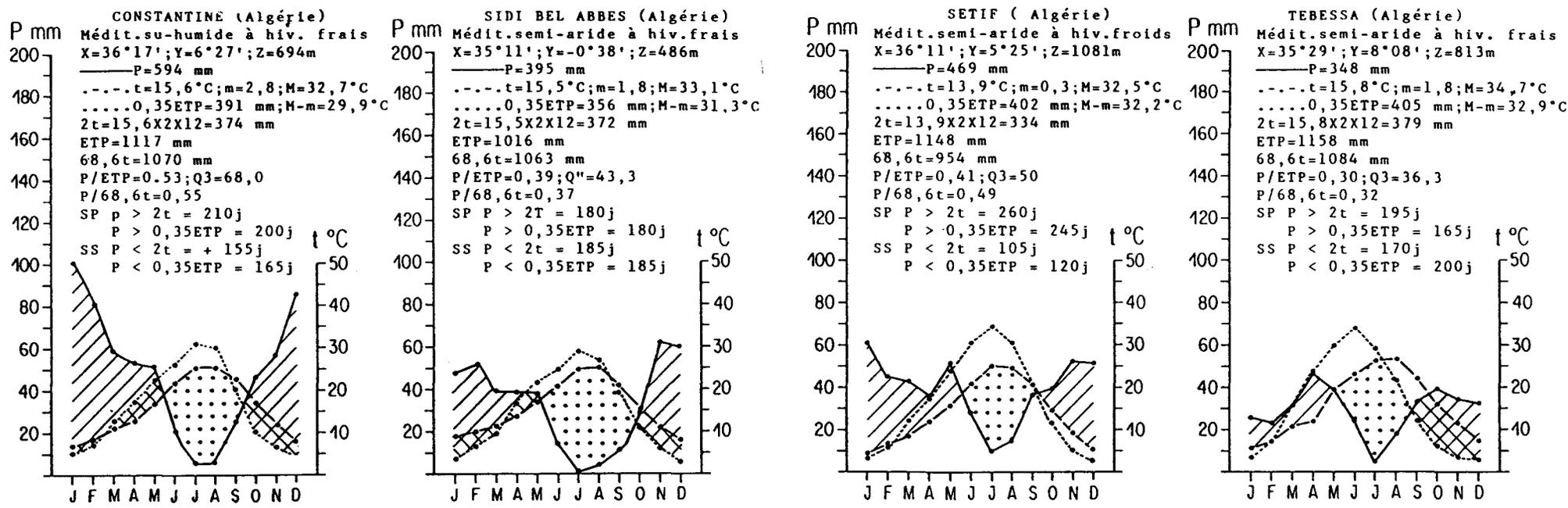


Figure 12. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

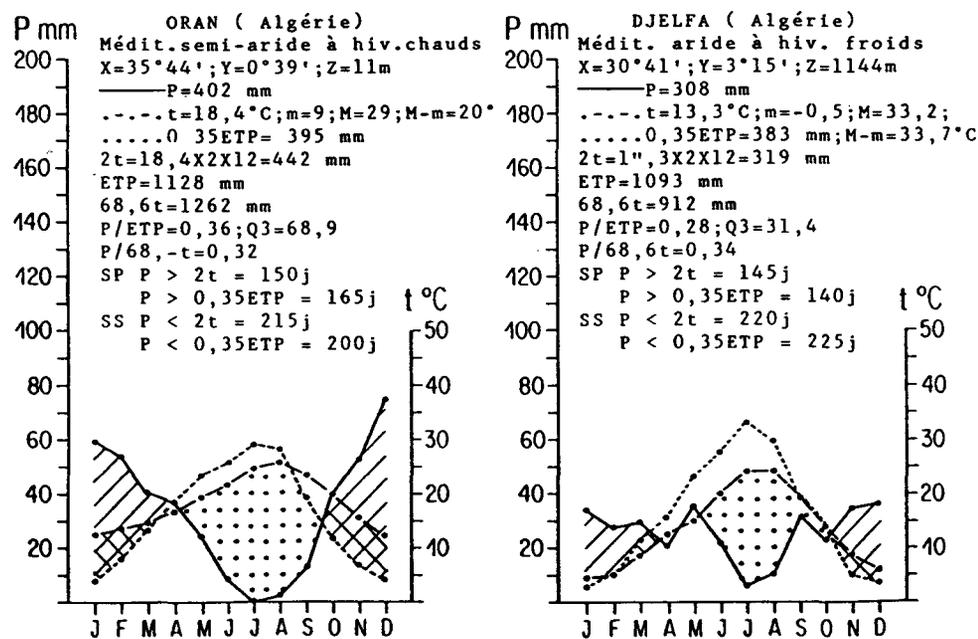


Figure 13. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

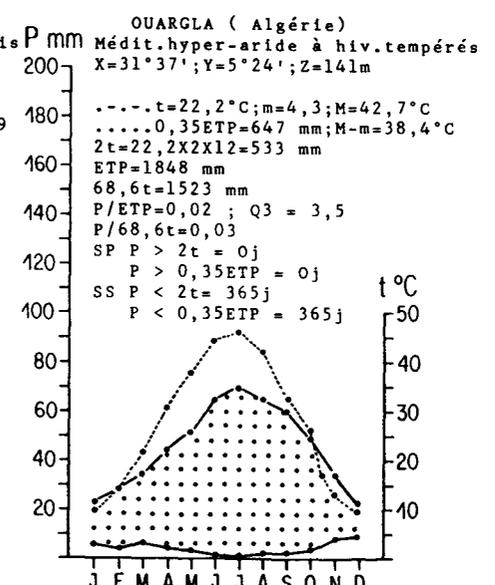
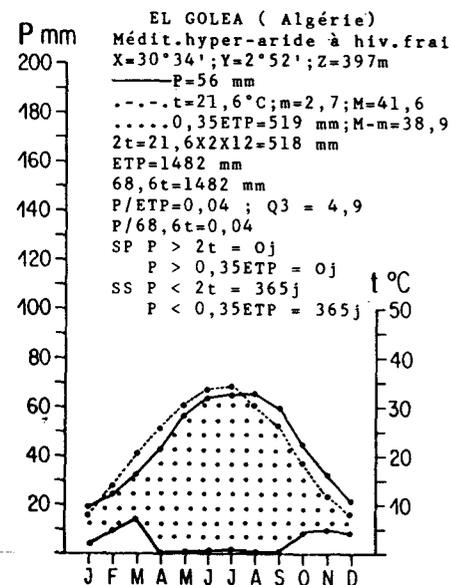
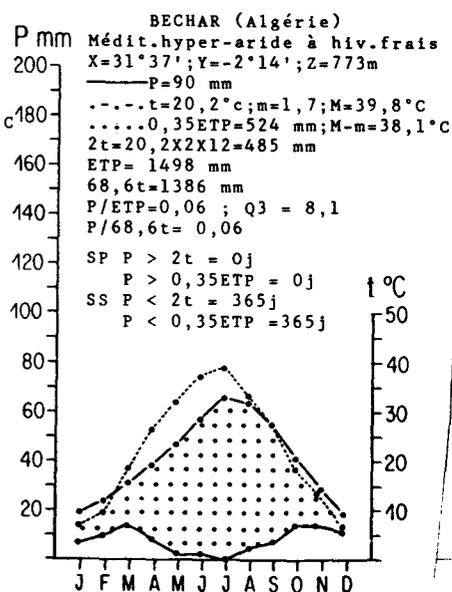
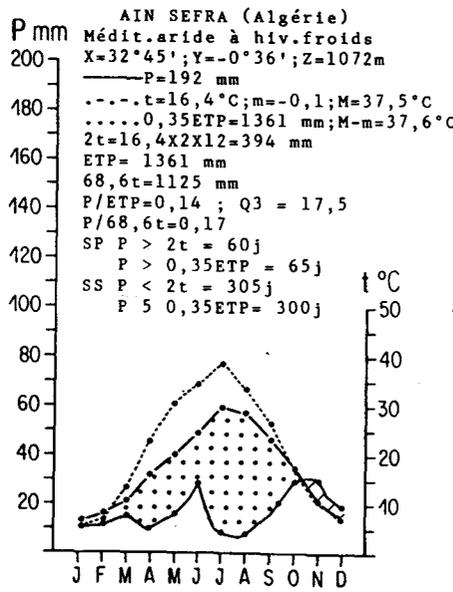
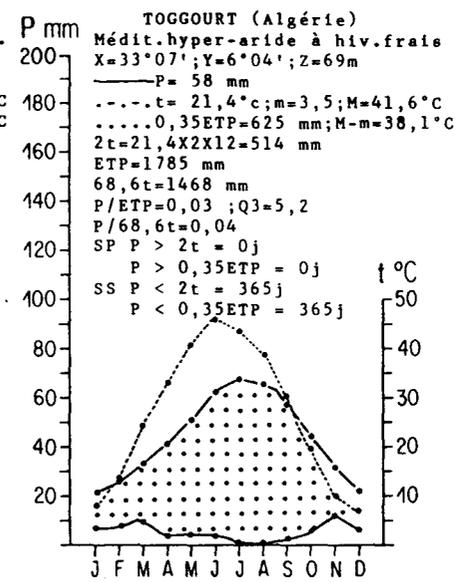
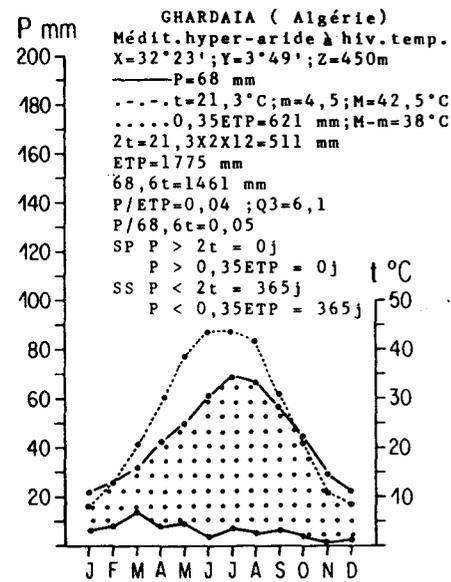
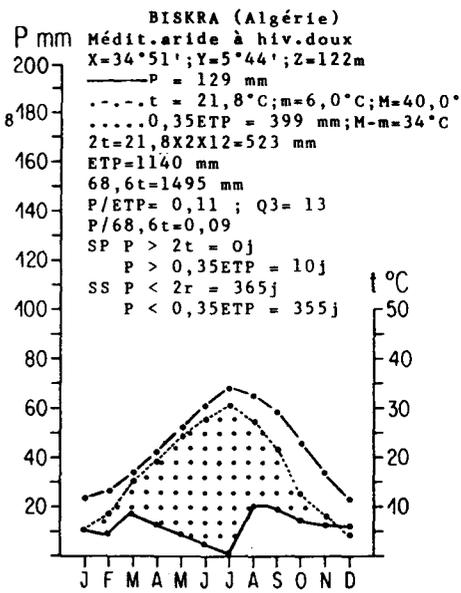
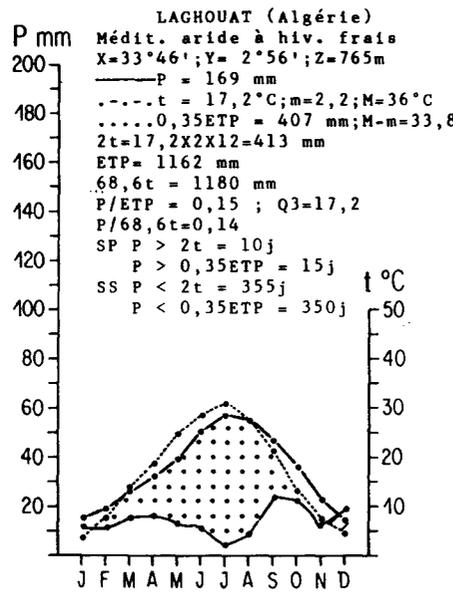


Figure 14. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnetiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 15. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnetiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

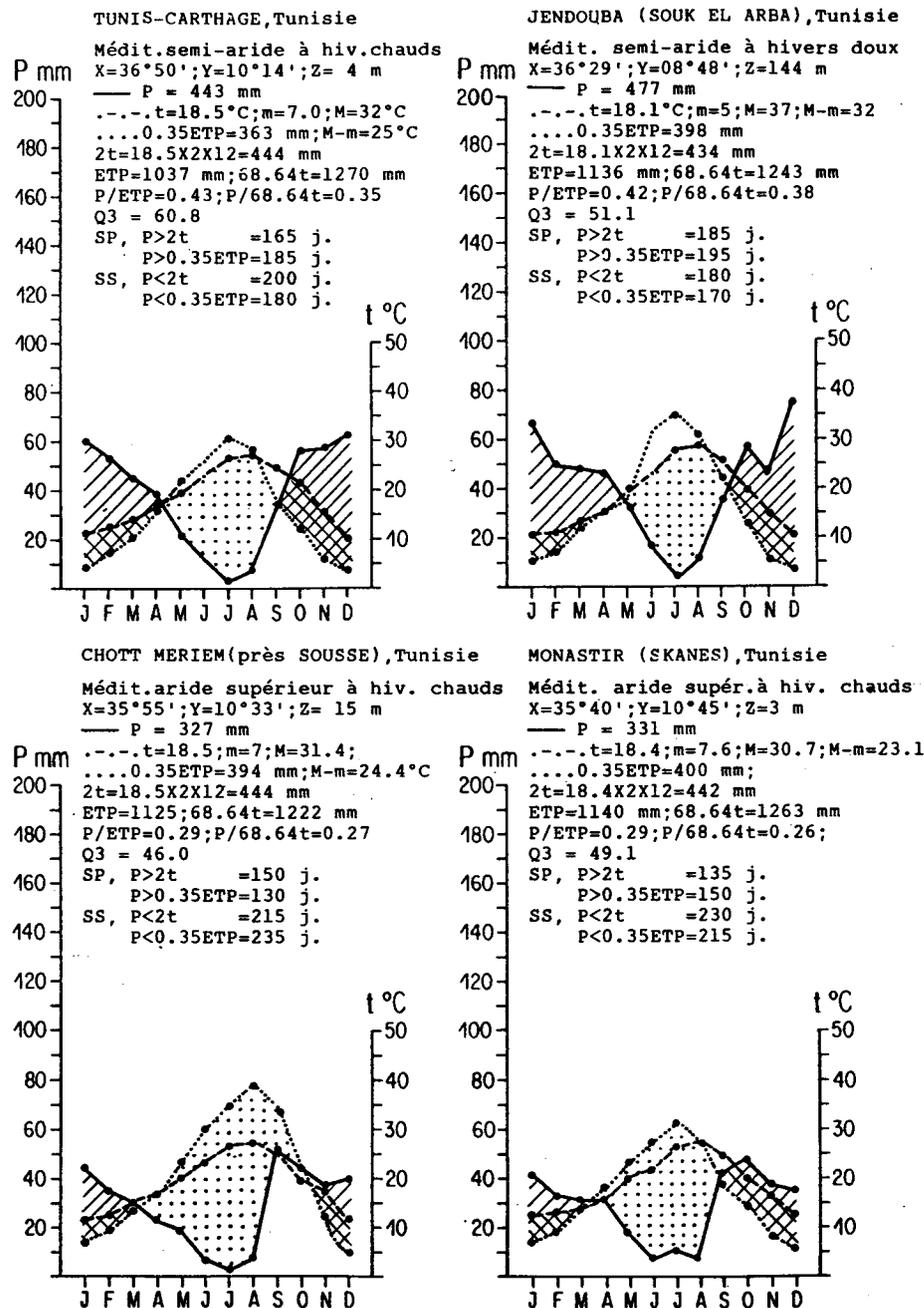


Figure 16. Courbes ombrothermiques et ombrodrypnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

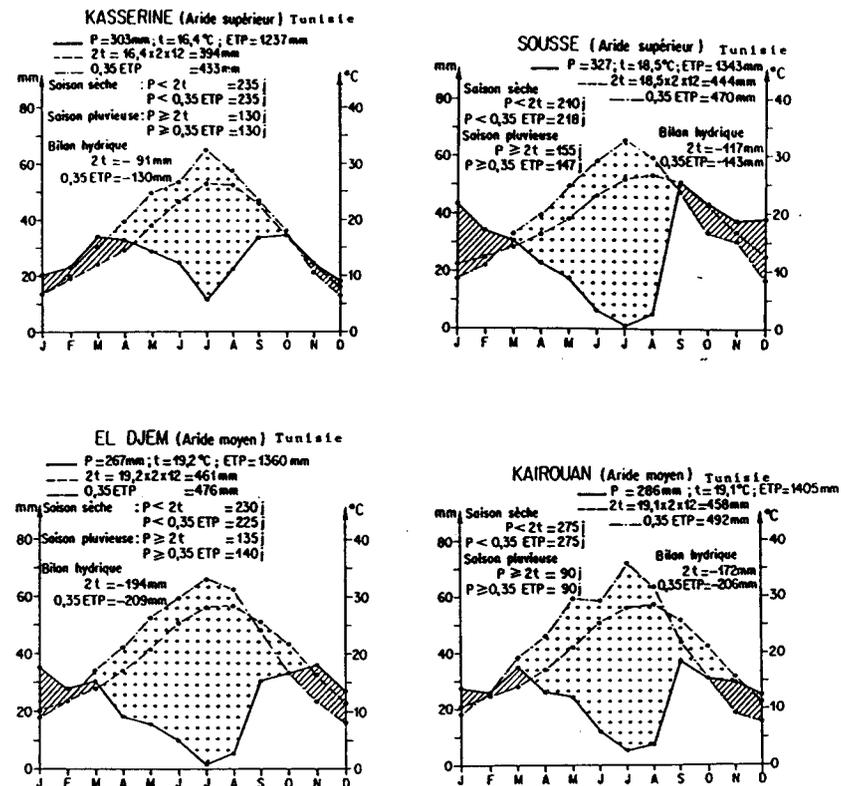


Figure 17. Courbes ombrothermiques et ombrodrypnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

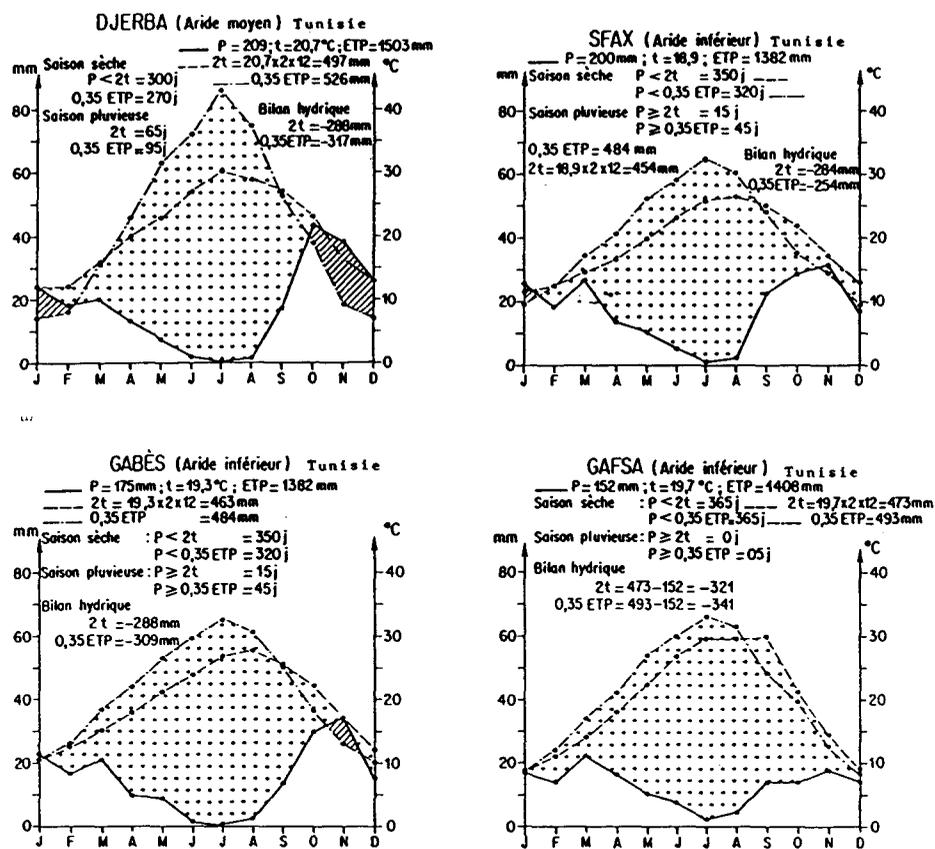


Figure 18. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

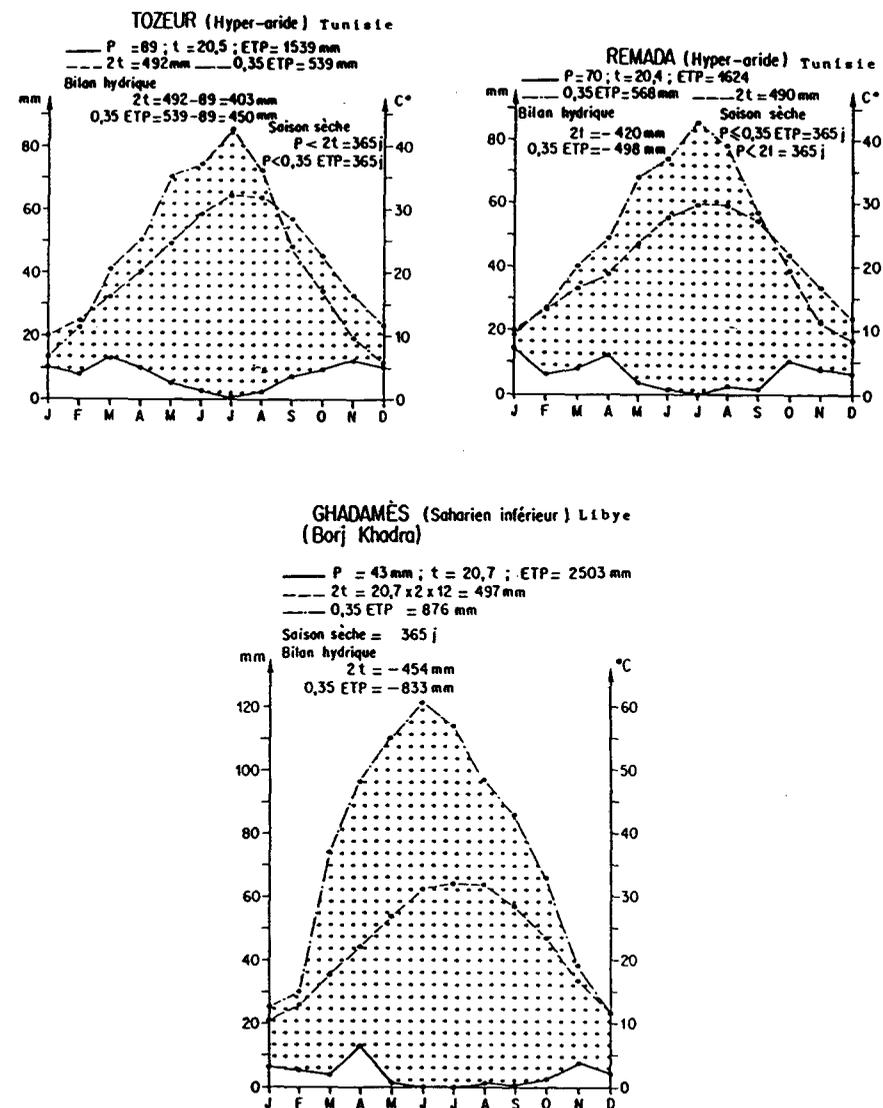


Figure 19. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

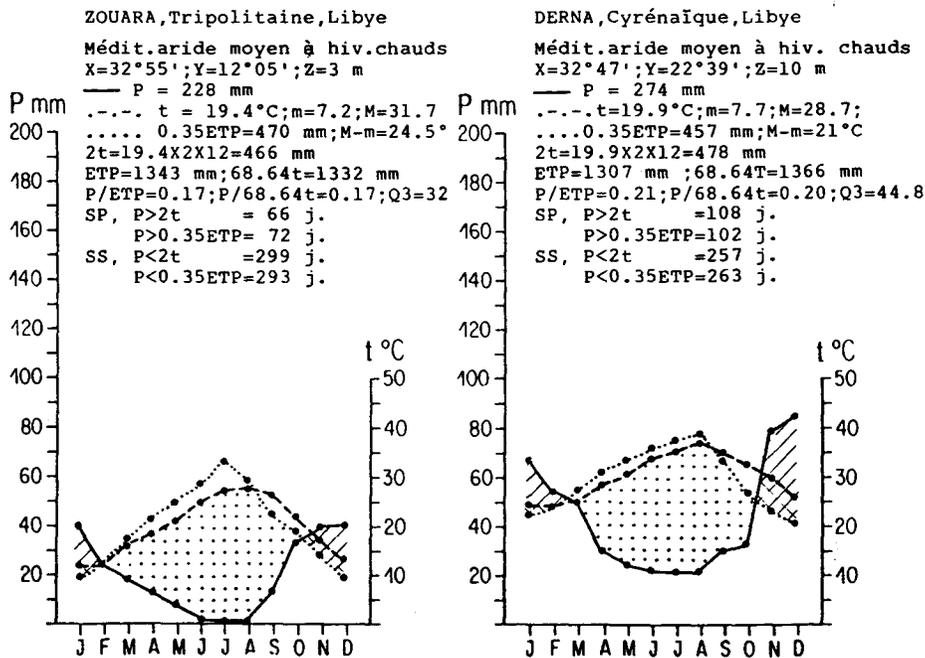
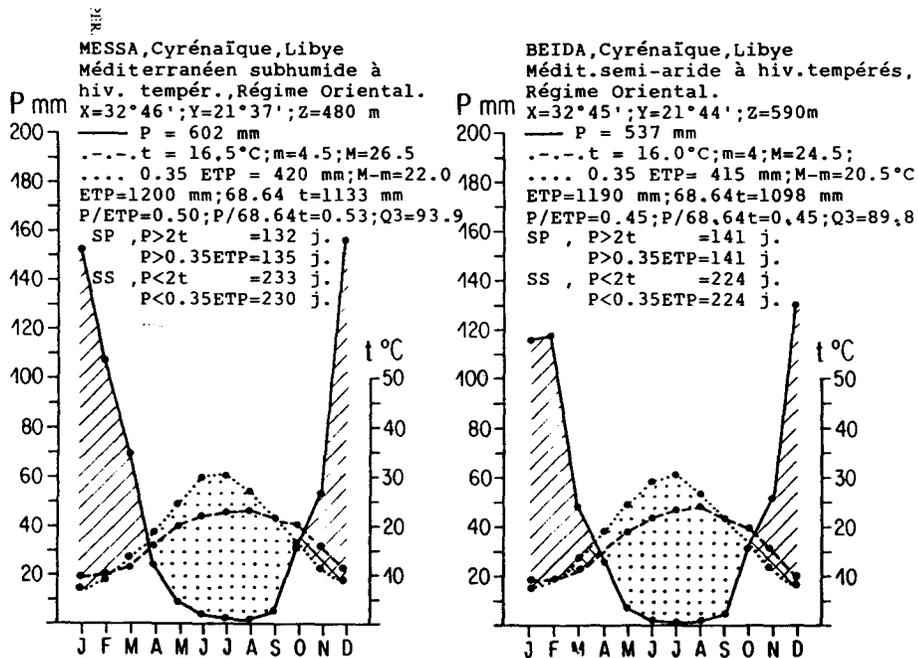
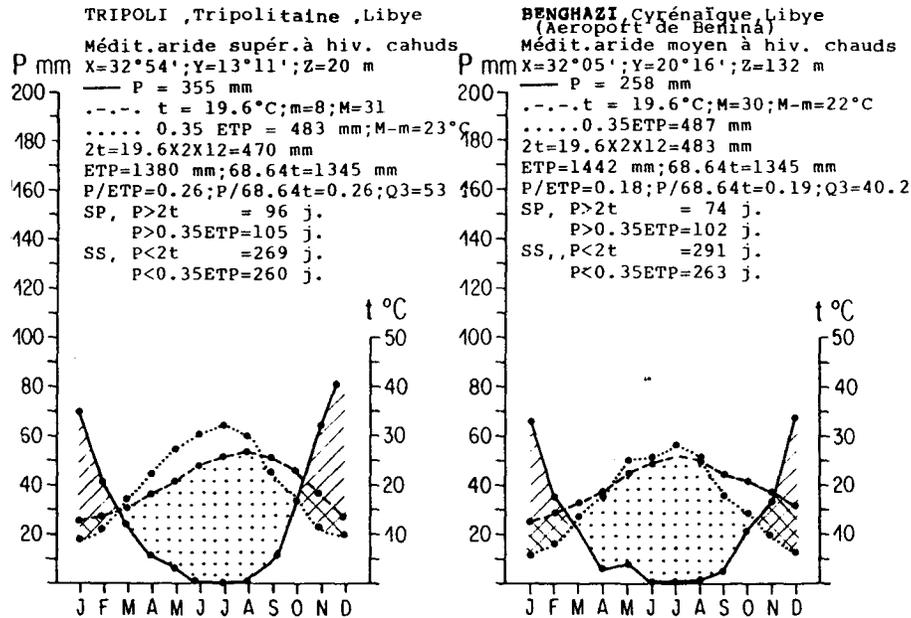
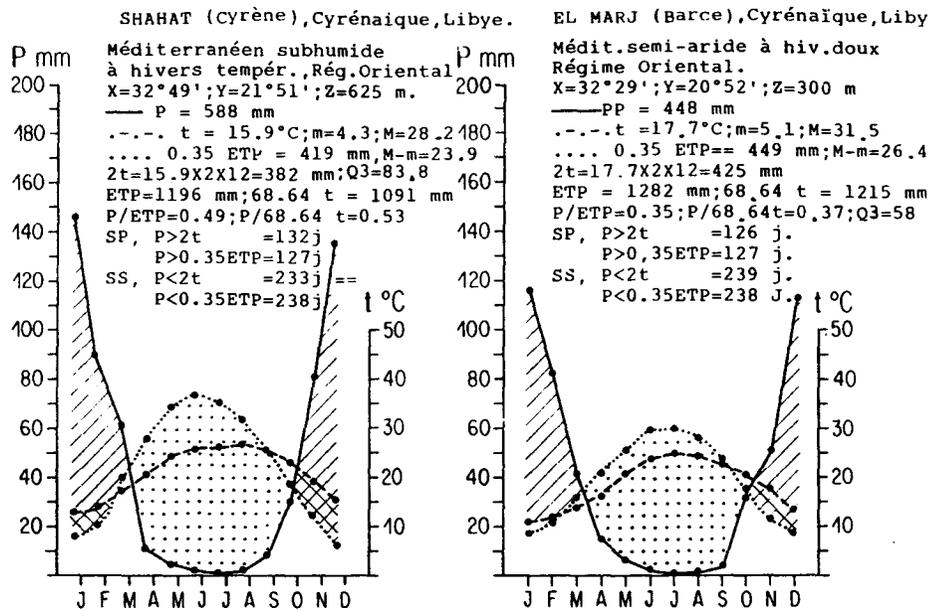


Figure 20. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 21. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

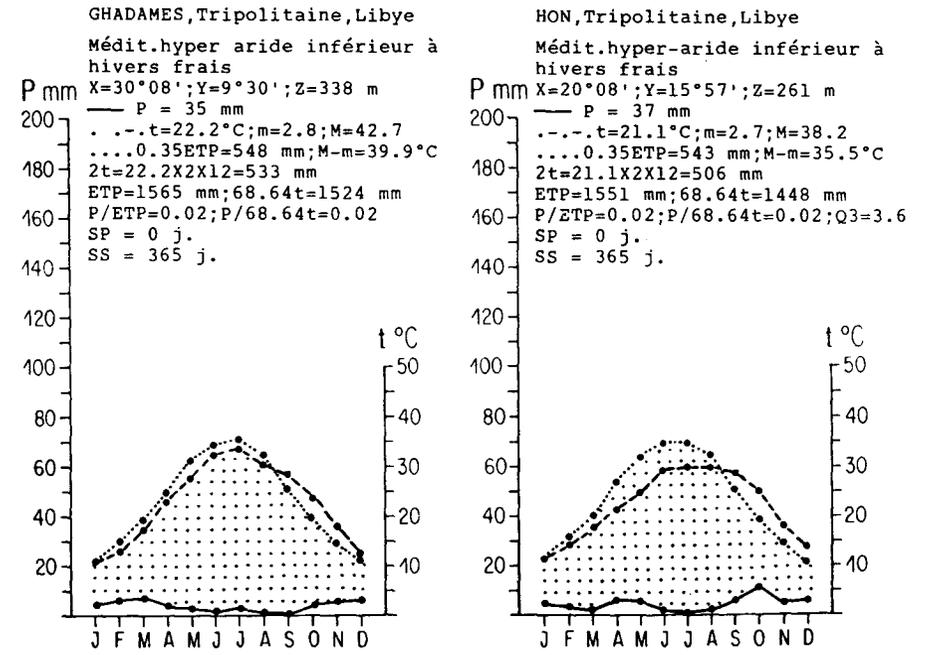
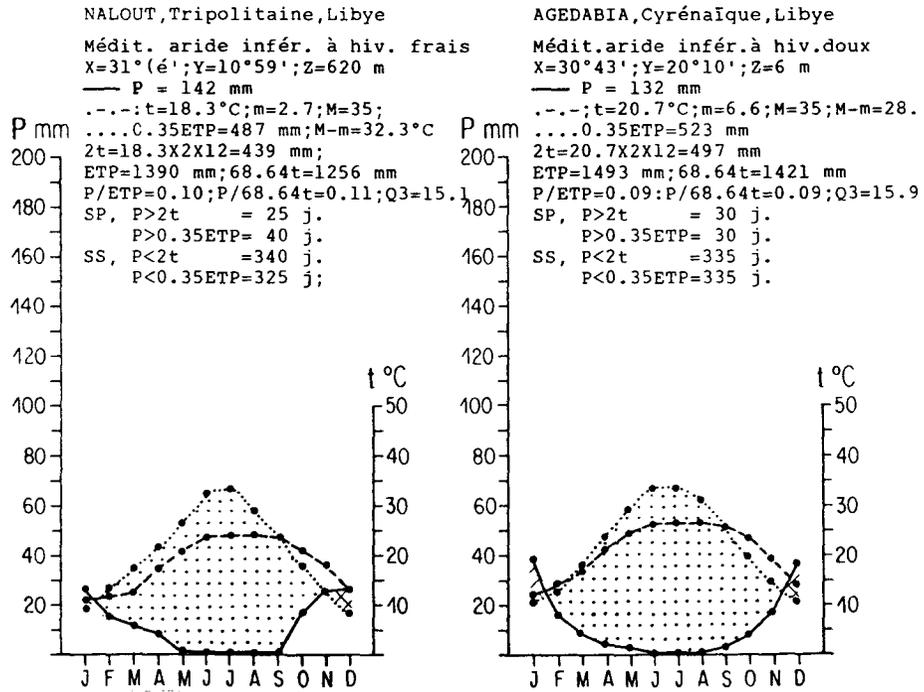
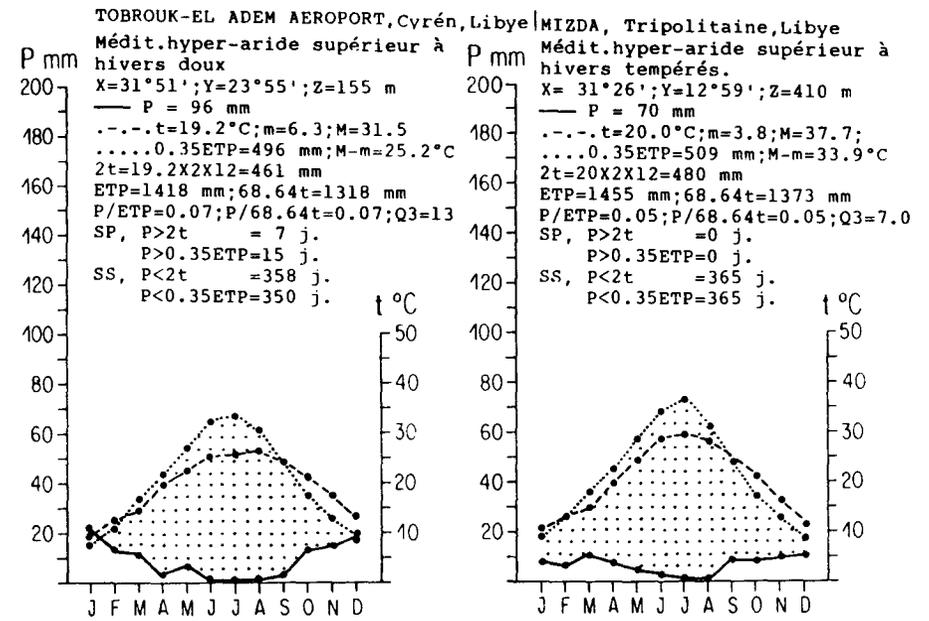
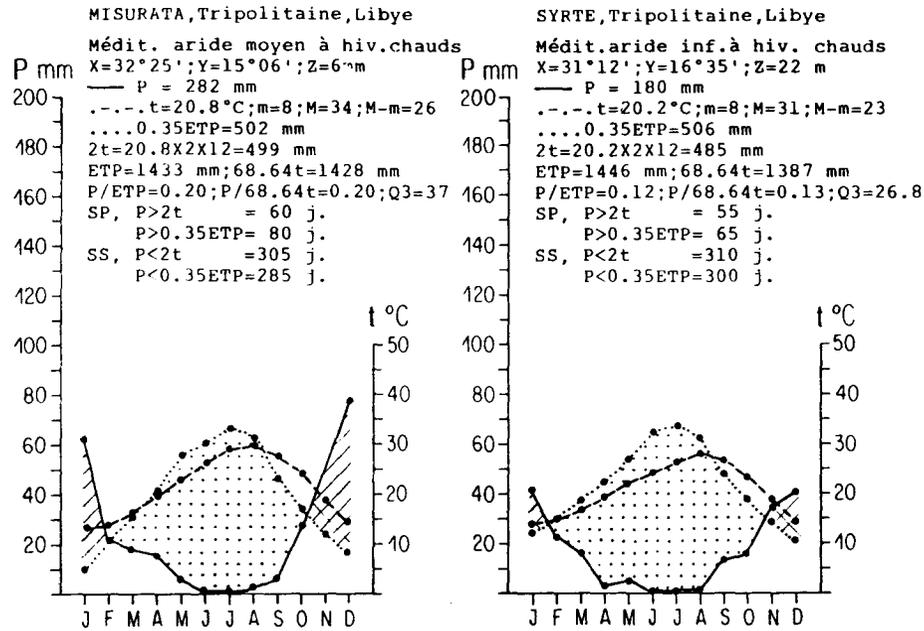


Figure 22. Courbes ombrothermiques et ombrodrynniques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 23. Courbes ombrothermiques et ombrodrynniques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

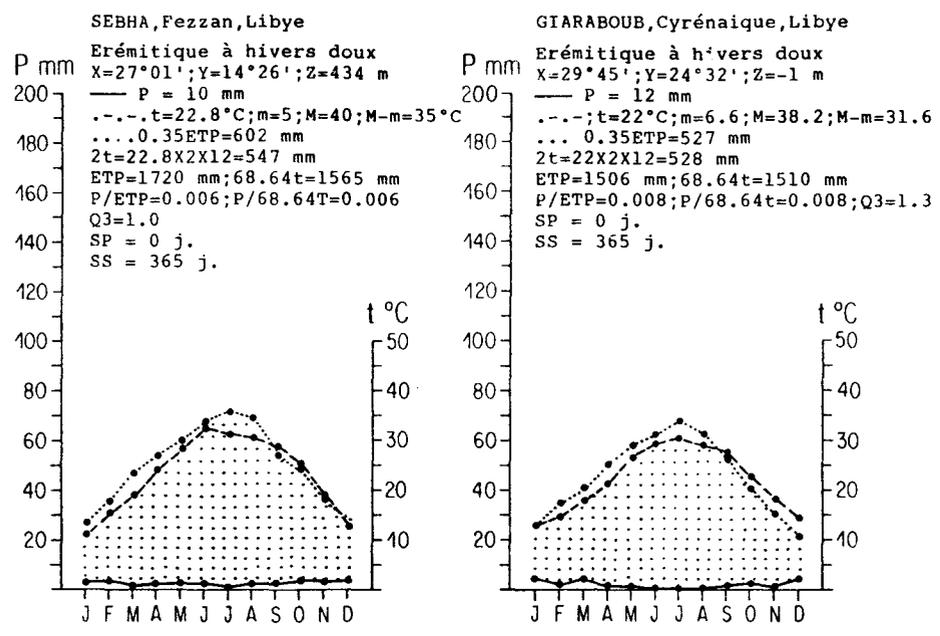


Figure 24. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

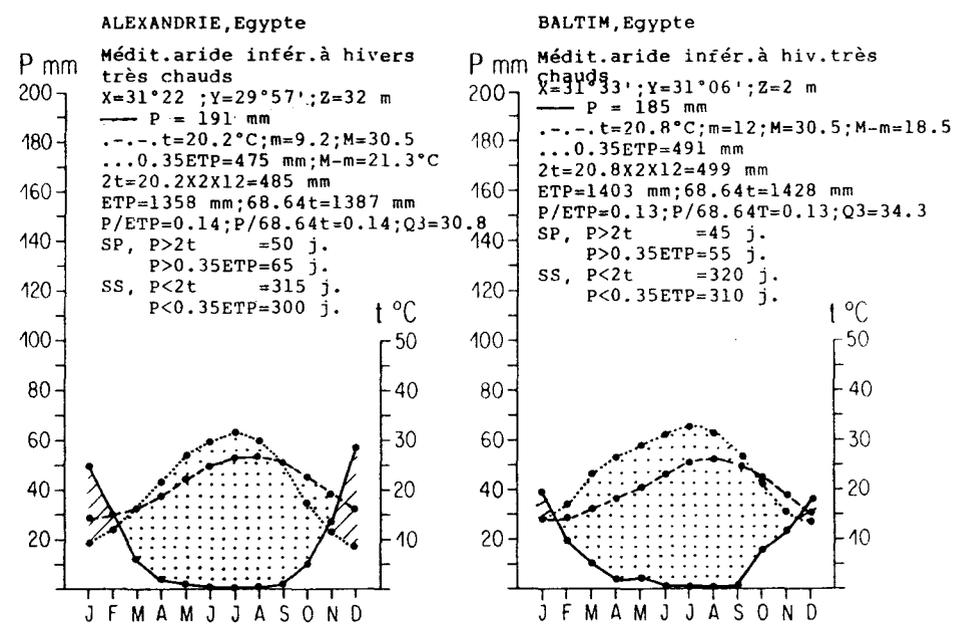
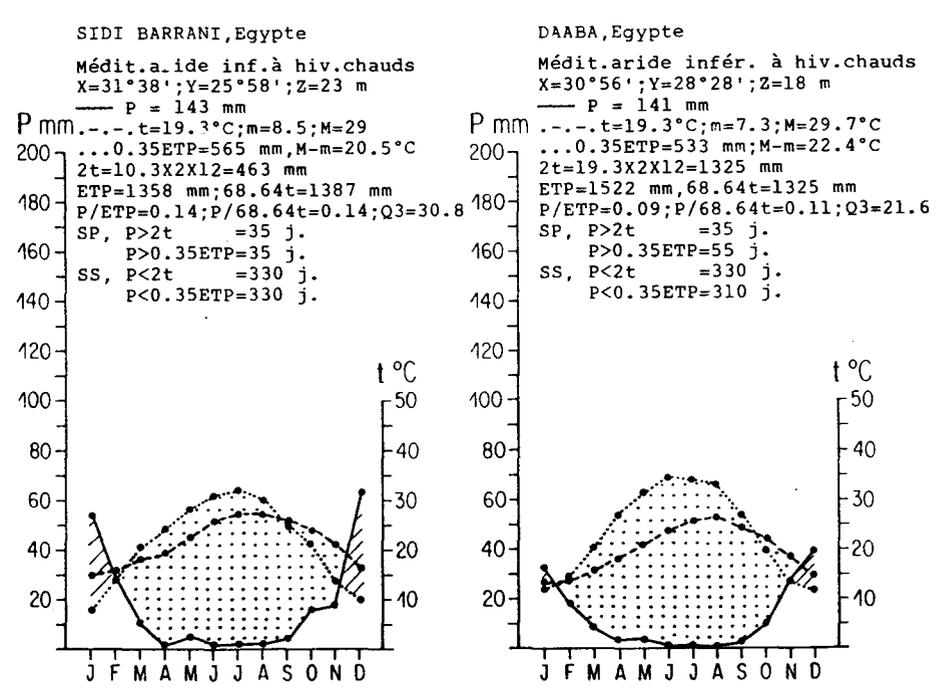
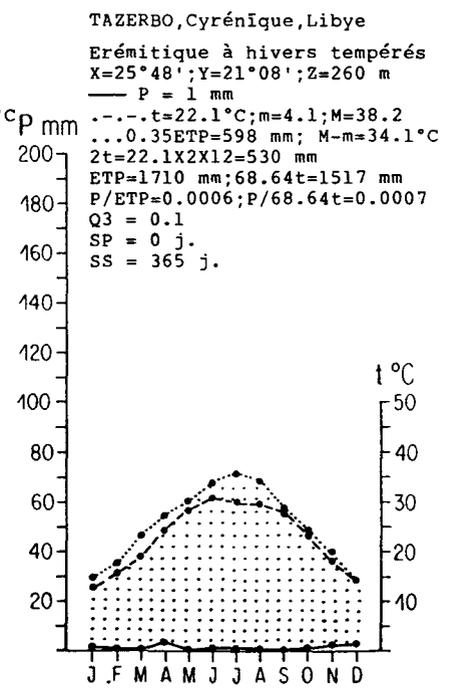


Figure 25. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.



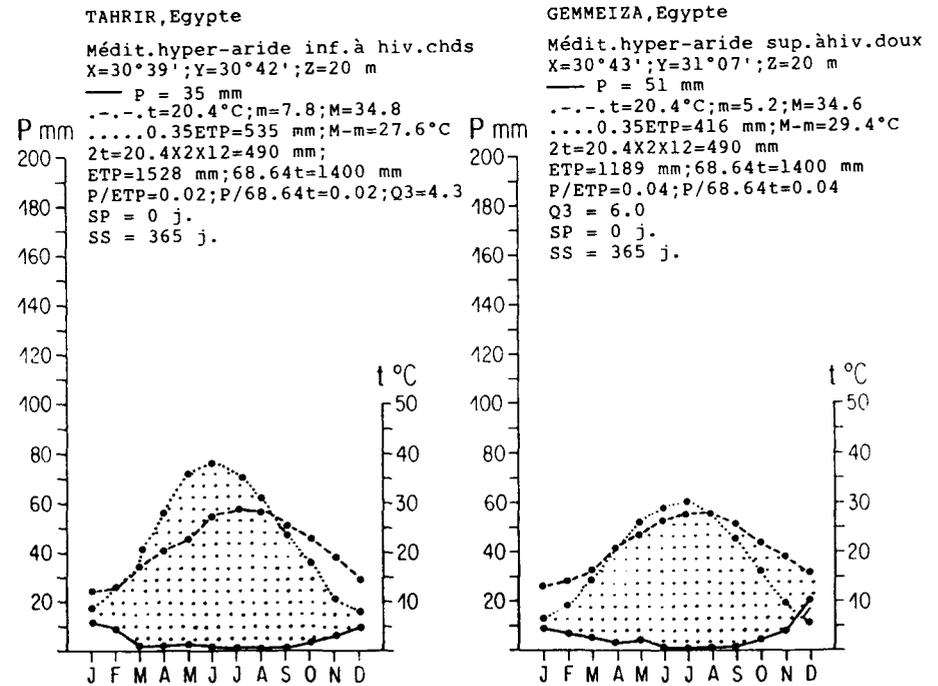
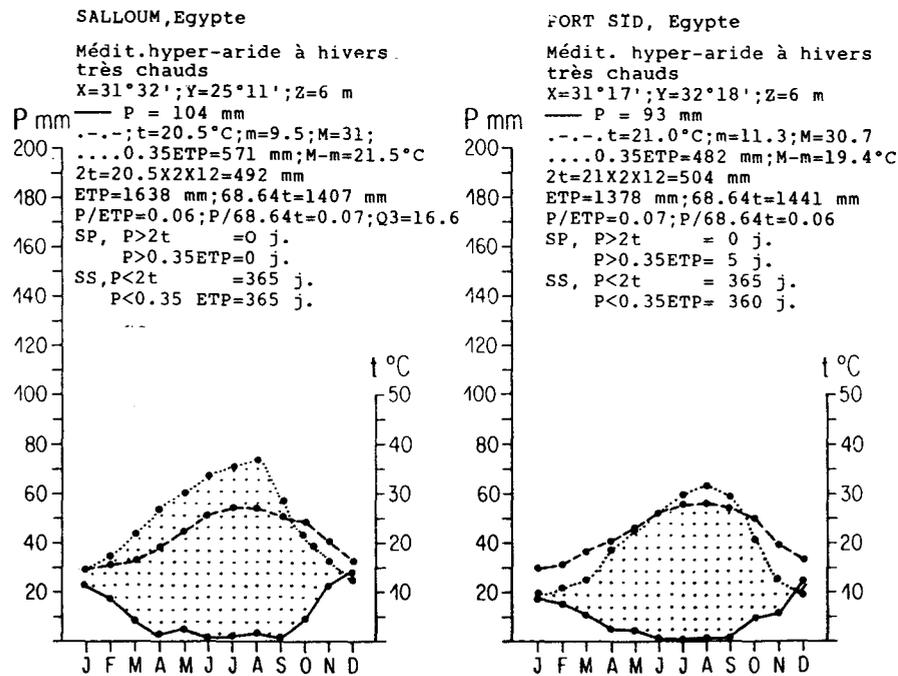
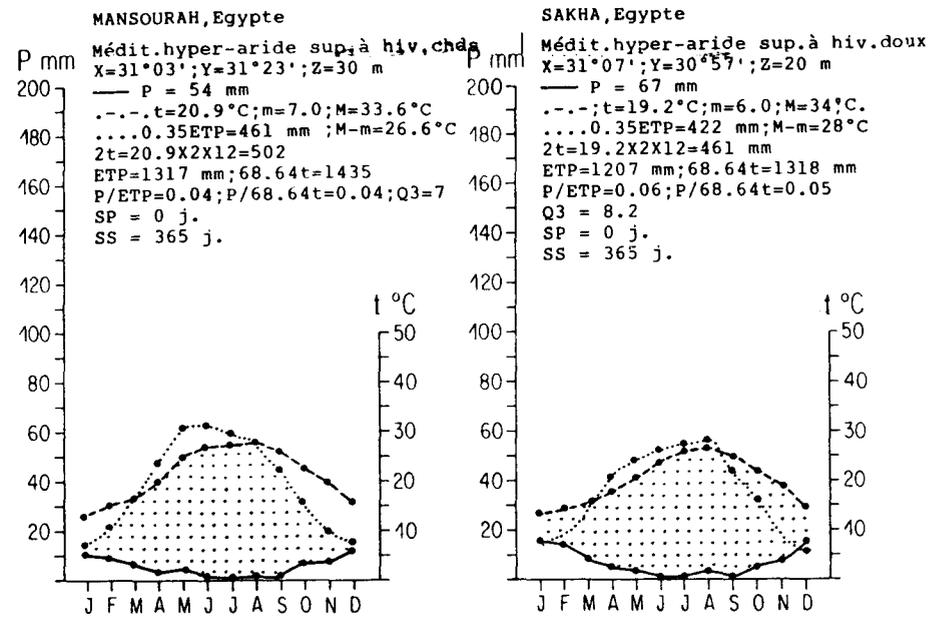
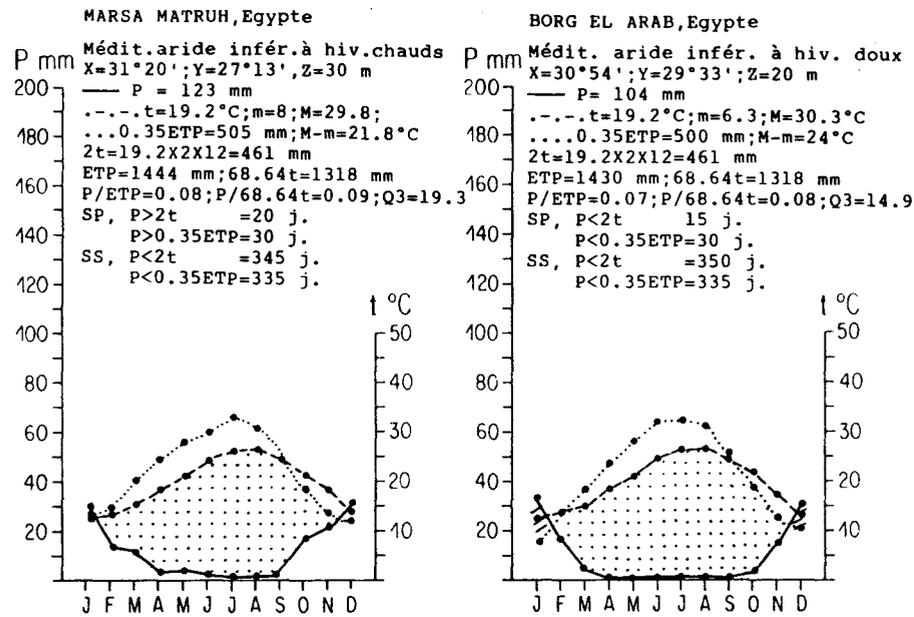


Figure 26. Courbes ombrothermiques et ombrodianpiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

Figure 27. Courbes ombrothermiques et ombrodianpiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

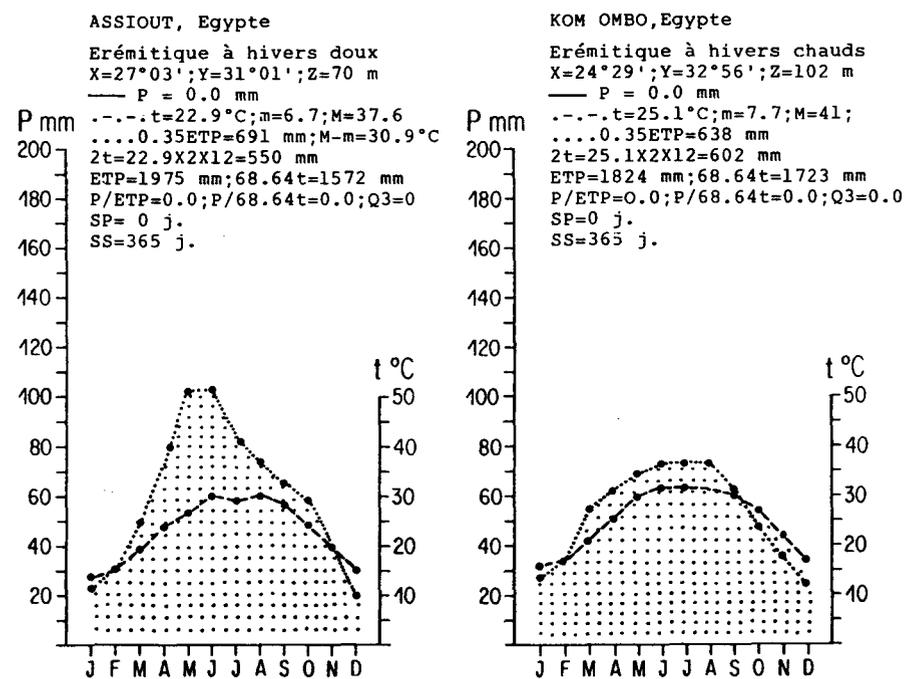
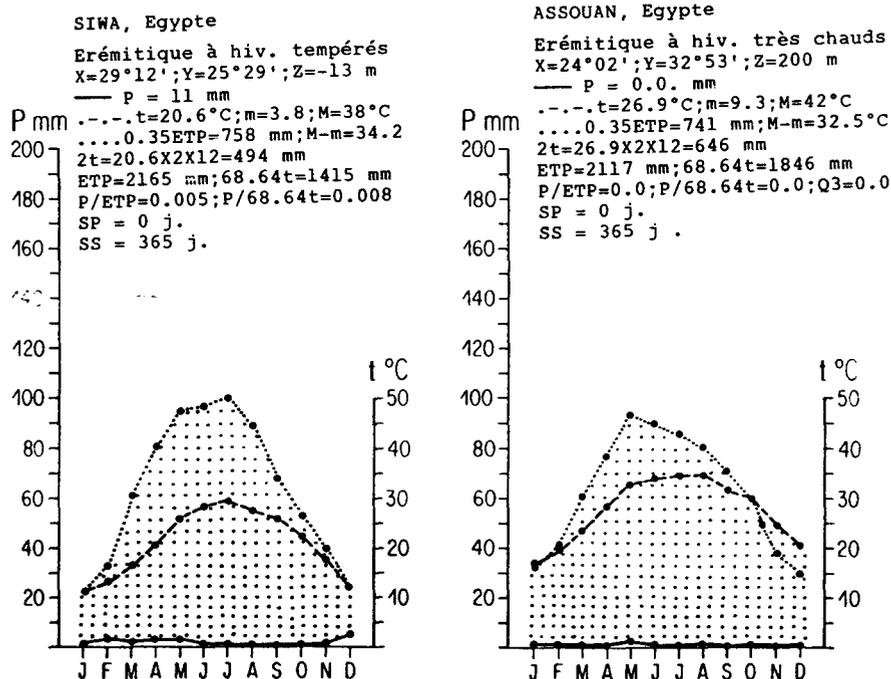
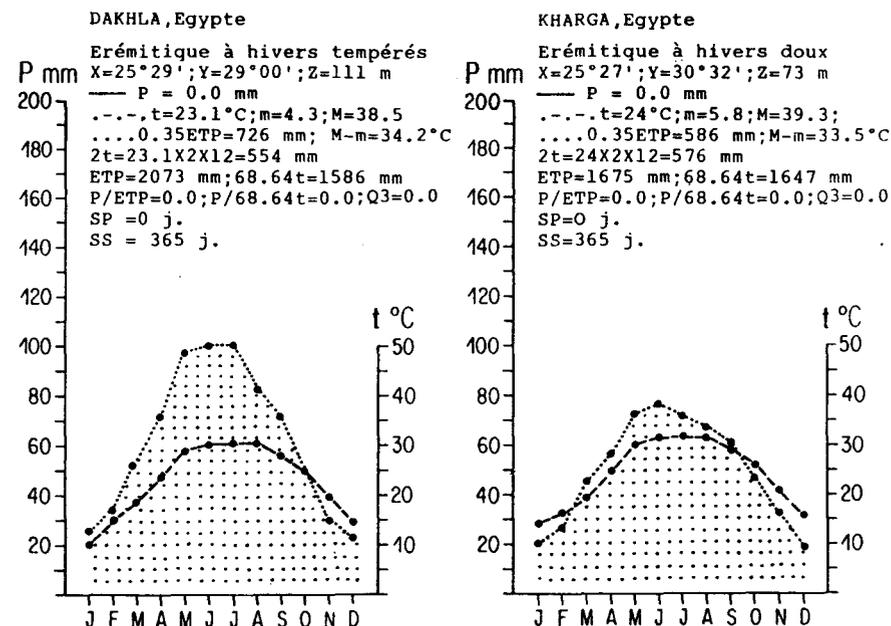
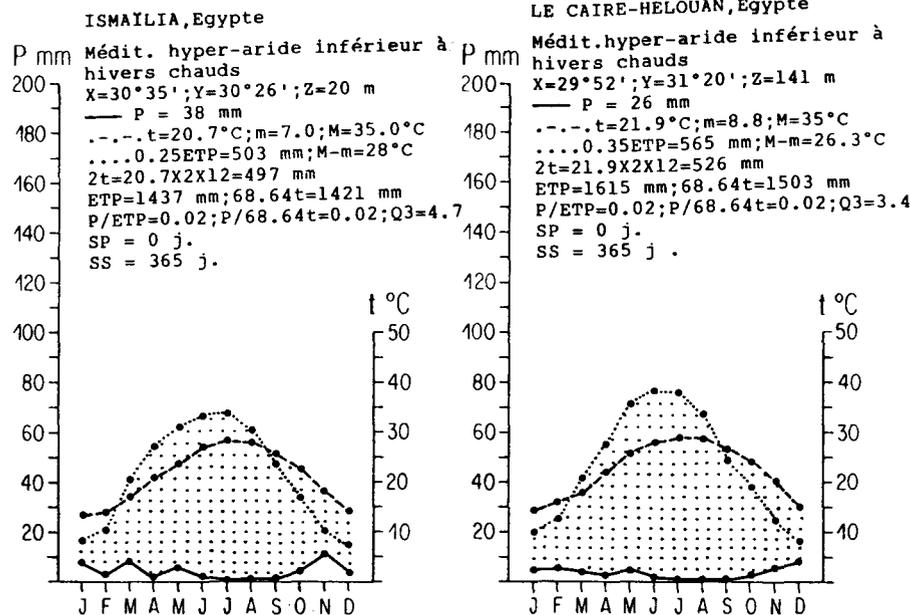


Figure 28. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité

Figure 29. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité

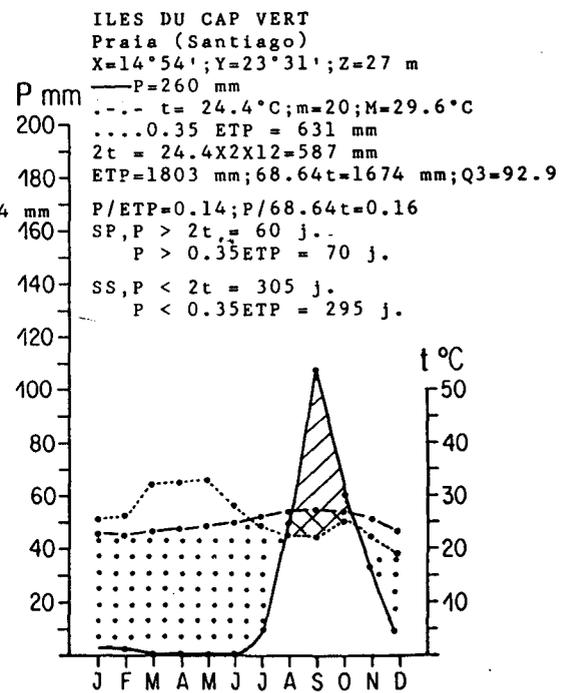
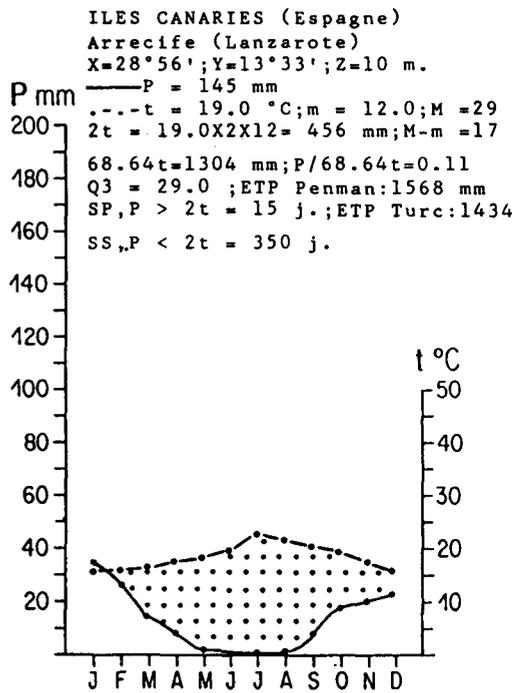
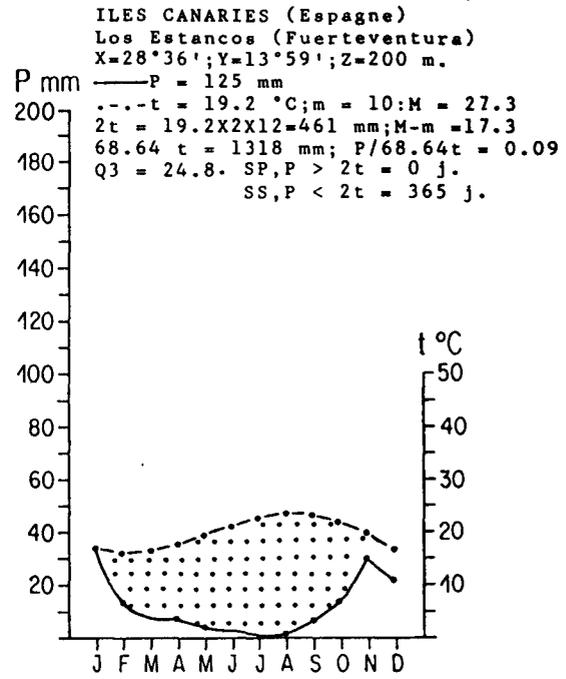
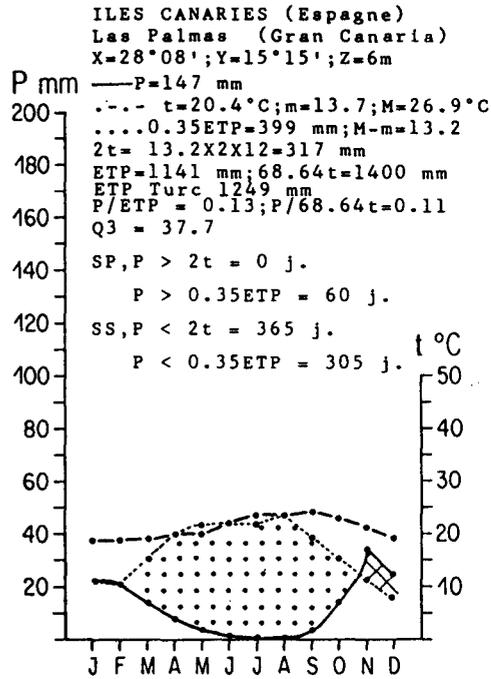


Figure 30. Courbes ombrothermiques et ombrodiapnéiques, longueur et intensité de la saison sèche, bilans hydro-climatiques.

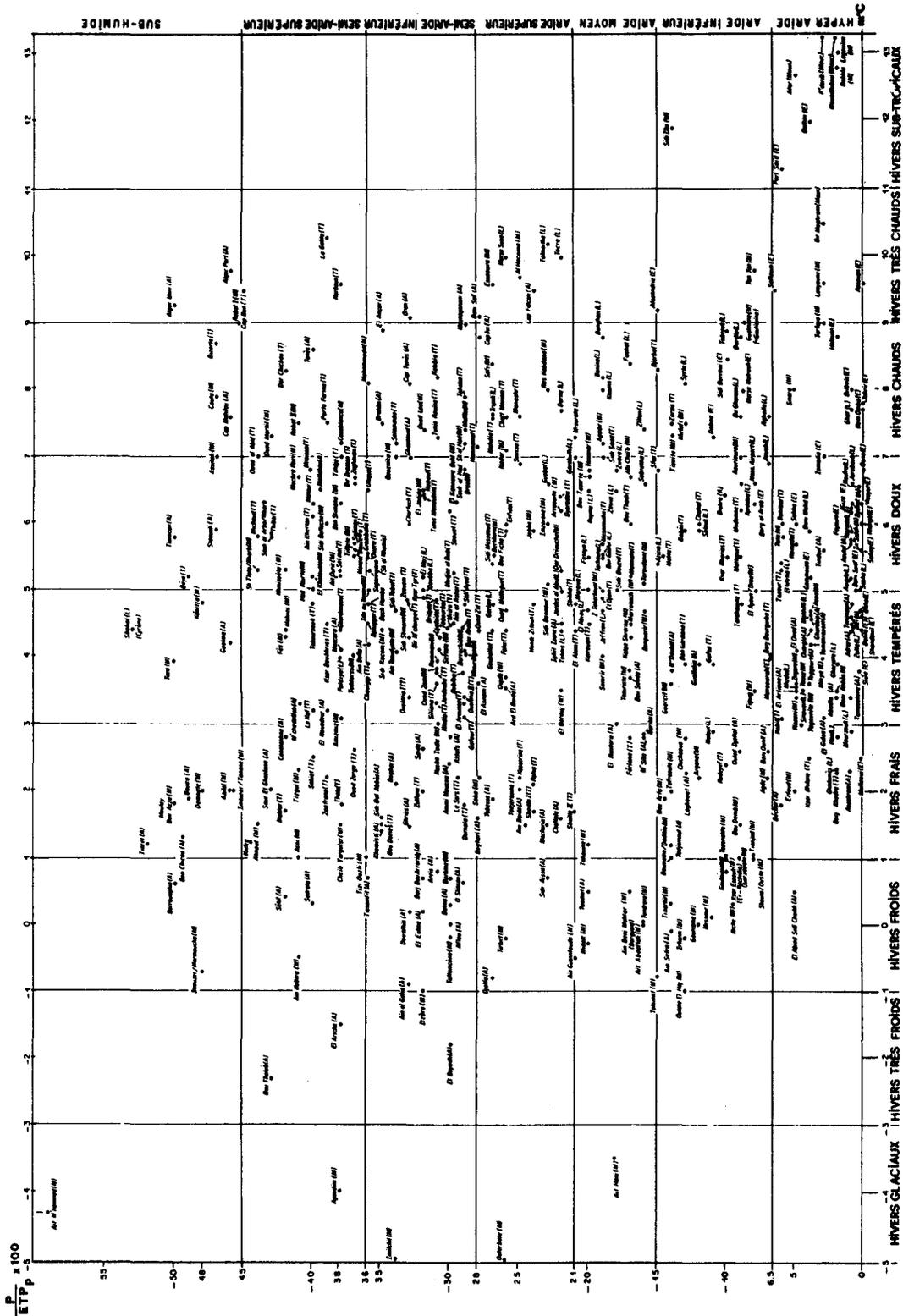


Figure 31. Synthèse éoclimatique, zonation des régions arides (s.l.) de l'Afrique du nord.

ZONATION ÉCOCIMATIQUE DES RÉGIONS ARIDES S.L. DE L'AFRIQUE DU NORD.  
 (basée sur le Quilient Étiologique et la mesure des précipitations journalières de janvier)  
 M. LA BOURG, 1950

Tableau 1. Superficie par pays des zones arides nord-africaines (par millier de km<sup>2</sup>)

Pays/zone	Superficie	Zones éco-climatiques			Total	%
		Semi-aride	Aride s.s.	Hyper-aride & Erémitique		
Maroc (Sahara Occidental compris)	713	130	120	396	646	90
Algérie	2 381	90	210	2 000	2 300	97
Tunisie	164	26	55	63	144	88
Libye	1 760	2	90	1 665	1 757	99
Egypte (Sinaï exclu)	1 001	-	30	971	1 001	100
Total	6 019	248	505	5 095	5 848	97

Tableau 2. Correspondance approximative entre les criteres d'estimation de l'intensité et de la longueur approximative de la saison sèche (stress hydrique), en zone isoclimatique méditerranéenne aride (s.l.) (\*).

P mm	ETP (Penman) mm	P/ETP	P < 0,35 ETP P < 2 t (jours/an)	Zones écoclimatiques
0 ... 2500	0,00	360	Erémitique inférieur	
5 ... 2200	0,01	360	Erémitique supérieur	
25 ... 2000	0,02	360	Hyper-aride inférieur	
50 ... 1800	0,03	360	Hyper-aride supérieur	
100 ... 1600	0,06	360	Aride inférieur	
200 ... 1500	0,15	330	Aride moyen	
300 ... 1400	0,21	300	Aride supérieur	
400 ... 1300	0,28	270	Semi-aride inférieur	
500 ... 1200	0,36	220	Semi-aride supérieur	
600 ... 1100	0,45	180	Subhumide (Pour mémoire)	

(\*) Les équivalences mentionnées ne concernent pas la zone méditerranéenne aride océanique (Californie littorale, Baja California, littoral Chilien, littoral Sud-Marocain et Canaries où l'ETP est de 30 à 40 % inférieure à celle des zones continentales de même latitude.



Tableau 4. Zonation écoclimatique des régions arides nord-africaines (s.l.).

Zones d'aridité (Stress hydrique, P/ETP; P<0.35ETP) Grands types climatiques	Sous-zones thermiques (Stress thermique hivernal ("m"))	Hivers	Hivers	Hivers	Hivers	Hivers	Hivers	Hivers	Hivers
		très chauds	chauds	doux	tempérés	fraîs	froids	très froids Haute Montagne	extrême ment froids Hte Mont
		a	b	c	d	e	f	g	h
	P								
	P/ETP								
	0	0.00							
Érémittique	Inférieur	A	Ab	Ac	Ad	?	-	-	-
	Supérieur	B	Ba	Bb	Bc	Bd	Be	Bf	-
Hyper-Aride	Inférieur	C	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce	?	-
	Supérieur	D	Da	Db	Dc	Dd	De	Df	-
Aride	Inférieur	E	Ea	Eb	Ec	Ed	Ee	Ef	-
	Moyen	F	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	-
	Supérieur	G	Ga	Gb	Gc	Gd	Ge	Gf	-
Semi-Aride	Inférieur	H	Ha	Hb	Hc	Hd	He	Hf	Hg
	Supérieur	I	Ia	Ib	Ik	Id	Ie	If	Ih
Sub-Humide		J	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM
		800	0.60						

+ = Combinaisons observées ; ? = Combinaisons douteuses ; - = Combinaisons non observées ou impos-  
sible.

Tableau 5. Zonation écoclimatique des régions arides et désertiques de l'Afrique du nord  
(Le Houérou & al., 1977 / 1979).

Zones Biocli- matiques	Hivers	Très Froids	Froids	Frais	Tempérés	Doux	Chauds	Très Chauds			
	m	-	+1	3	5	7	9	15			
	Tempér. Diurne	Microhem	Micro	Meso	Micro	Meso	Macro	Meso	Macro	Mega	Megahemitherme
	H <sub>1</sub>	10	10	12	10	12	15	15	20	20	> 20
Semi- Aride	Supérieur	600	0.45								
	Inférieur	500	0.36	+	+	+	+	+	+	+	+
Aride	Supérieur	400	0.28	+	+	+	+	+	+	+	+
	Moyen	300	0.21	+	+	+	+	+	+	+	+
	Inférieur	200	0.15	+	+	+	+	+	+	+	+
Hyper Aride	Supérieur	100	0.06	-	+	+	+	+	+	+	+
	Inférieur	50	0.03	-	-	+	+	+	+	+	+
Érémittique	Supérieur	25	0.02	-	-	+	+	+	+	+	+
	Inférieur	10	0.01	-	-	+	+	+	+	+	+
		0	0.00	-	-	+	+	+	+	+	+

+ = Combinaison observée ; - = Combinaison douteuse ou inexistante.

N.B. Les correspondances de P et P/ETP sont approximatives et non valables pour le littoral atlantique, m = moyenne des minima de janvier; H<sub>1</sub> = moyenne des maxima de janvier.

Tableau 6. Etude de l'ETP dans la zone aride (s.l.) de l'Afrique du nord. Comparaison des données annuelles  
calculées par les méthodes de Turc, Penman et Le Houérou.

Pays	Nombre de stations communes	Moyenne	Moyenne	Différence	Différence	Nombre de stations communes	Moyenne	Moyenne	Différence	Différence
		Turc	Le Houérou	mm	%		Le Houérou	Penman	mm	%
Maroc						17	1 423	1 453	20	1,41
Algérie	29	1 196	1 299	103	7,9	21	1 417	1 420	4	0,21
Tunisie	20	1 349	1 293	55	4,12	21	1 367	1 250	117	8,56
Libye	45	1 417	1 307	110	8,4	16	1 316	1 640	324	24,60
Egypte						27	1 380	1 584	204	14,80
Total	94					102				
Moyenne arithmétique		1 321	1 300	21	1,62		1 381	1 469	88	6,37
Moyenne pondérée		1 334	1 302	32	2,46		1 382	1 468	86	6,25

Tableau 7. Stations climatiques de la zone aride (s.l.) nord-africaine. Caractéristiques géographiques, données et paramètres utilisés dans la classification écoclimatique.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N°		I - MAROC											Interprétation Classification	Remarque	
		Lat. N°'	Long. W°'	Alt. m	P °C	M °C	m °C	M+m 2	t °C	M-m	ETP mm	P ETP			Q3
1	- Agadir	3026	0936	0050	225	27.1	07.2	19.9	18.7	19.9	1177	0.19	39.1	AM-c	
2	- Agdz	3026	0624	1100	108	41.5	2.2	21.9		39.3	1500	0.07	9.4	AI-f	
3	- Agoudim	3223	0509	2200	361	32.0	-4.0	14.0		36.0	961	0.38	34.4	SAS-gl	
4	- Ain Almou	3451	0212	1300	616	33.7	1.8	17.8	12.4	31.9	1218	0.51	62.2	SH-f	
5	- Ain Chaïb	3024	0914	80	247	34.8	6.7	20.8		28.1	1424	0.17	30.1	AM-d	
6	- Ain Ej Johra	3406	0602	150	485	35.4	5.2	20.3	19.2	30.2	1393	0.35	55.1	SAI-d	
7	- Ain El Kebira	3359	0300	1450	526	34.0	-0.5	16.8	13.8	34.5	1150	0.46	52.3	SH-ff	
8	- Ain Guennfouda	3429	0203	1200	246	32.5	1.5	17.0		31.0	1167	0.21	27.2	AS-f	
9	- Ain Taoujdate	3959	0514	550	467	35.6	4.1	19.9	17.4	31.5	1363	0.34	50.1	SAI-t	
10	- Aït Abdallah	2949	0846	1750	197	36.5	0.0	18.3		36.5	1253	0.16	18.5	AM-f	
11	- Aït Hani	3147	0530	1950	209	36.5	-3.5	16.5		40.0	1133	0.18	17.5	AM-tf	
12	- Aït Mhammed	3153	0628	1680	549	31.7	-4.3	18.0	12.2	36.0	1236	0.44	52.3	SH-gl	
13	- Aït Ourir	3134	0740	700	552	37.1	5.2	21.2	19.1	31.9	1452	0.38	59.4	SAI-d	
14	- Aknoul	3440	0352	1210	529	33.7	1.5	17.6	14.6	32.2	1208	0.44	56.4	SAS-f	
15	- Al Hoceïma	3514	0355	50	327	28.9	9.7	19.3	18.3	19.2	1325	0.25	65.9	AS-cc	
16	- Amizmiz	3115	0814	1000	488	34.7	3.1	18.9	17.6	31.6	1287	0.38	53.0	SAS-t	
17	- Aouriouara	2850	1059	40	102	27.0	7.0	17.0		20.0	1167	0.09	17.5	AI-c	
18	- Argana	3047	0908	750	176	41.2	2.2	21.7	17.3	39.0	1489	0.12	15.5	AI-f	
19	- Asni	3115	0800	1200	459	32.0	1.0	16.5		31.0	1133	0.41	51.1	SAS-ff	
20	- Assa	2826	0925	370	68	43.5	4.7	24.1		38.8	1654	0.04	6.0	HAI-d	
21	- Assilah (*)			12	578	28.5	7.0	17.8	17.5	21.5	1218	0.47	92.2	SH-c	
22	- Azilal	3158	0632	1430	561	33.9	2.0	18.0	15.8	31.9	1232	0.46	60.3	SH-f	
23	- Benguerir	3214	0758	475	230	38.2	4.7	21.5	20.0	33.5	1472	0.16	23.5	AM-t	
24	- Ben Slimane	3337	0707	280	475	29.8	6.3	18.1	17.3	23.5	1239	0.38	69.3	SAS-d	
25	- Berguent (*) (Aïn Beni Mathar)	3403	0202	920	197	34.0	-0.5	16.8	18.3	33.5	1153	0.17	20.2	AM-ff	
26	- Berkane	3456	0220	145	350	32.8	5.5	19.2	18.3	27.3	1314	0.27	44.0	AS-d	
27	- Berkine	3345	0350	1280	362	34.0	0.7	17.4	14.2	33.3	1191	0.30	37.3	SAI-ff	
28	- Berrechid	3318	0725	240	374	33.4	4.1	18.8	17.6	29.3	1287	0.29	43.8	SAI-t	
29	- Bou Arfa	3234	0158	1310	196	37.8	1.9	19.9	17.4	35.9	1363	0.14	18.7	AI-f	
30	- Boudenib	3137	0335	925	112	40.8	1.5	21.2	20.5	34.3	1452	0.08	9.5	AI-f	
31	- Boumalne-du- Daddès	3121	0558	1585	177	36.0	1.0	18.5		35.0	1270	0.14	17.3	AI-ff	
32	- Bou Tazerte	3122	0943	35	257	31.3	6.7	19.0		24.6	1304	0.20	35.8	AM-d	
33	- Bouznika	3349	0710	45	411	28.6	7.0	17.8	17.6	21.6	1222	0.34	65.3	SAI-c	
34	- Casablanca	3335	0739	50	443	27.0	7.2	17.1	17.6	19.8	1174	0.38	76.6	SAI-c	
35	- Ceuta	3553	0519	200	580	27.1	8.9	18.0		18.2	1236	0.47	109.3	SH-cc	
36	- Chaïb Targuist	3457	0418	1020	463	33.5	1.7	17.6	14.3	31.8	1208	0.38	49.9	SAS-f	
37	- Chichaoua	3133	0847	340	187	37.9	2.8	20.4	18.9	35.1	1397	0.13	18.3	AI-f	
38	- Dakhla (ex Villa Cisneros)	2342	1552	10	29	27.0	13.6	20.3		13.4	1395	0.02	7.4	HAI- subtropical océanique	
39	- Dar Driouche	3459	0323	290	281	31.6	5.3	18.5		26.3	1266	0.22	36.6	AS-d	
40	- Demnate	3144	0659	950	590	34.0	2.0	18.0	16.9	32.0	1236	0.48	63.2	SH-f	
41	- El Ayoun-du- Draa	2831	1042	450	110	34.5	5.0	19.5		29.5	1356	0.08	12.8	AI-d	
42	- El Borouj	3221	0711	405	334	41.2	3.5	22.4	19.6	37.7	1534	0.22	30.4	AS-t	
43	- El Jadida (ex Mazagan)	3315	0824	55	366	27.6	6.4	17.0	17.2	21.2	1167	0.32	59.2	SAI-d	
44	- El Kalaa-des- Srarhna	3203	0724	465	257	39.4	4.3	21.9	19.4	35.1	1500	0.17	25.1	AM-t	
45	- El Kannsera-du- Beht	3203	0556	90	423	35.9	6.3	21.1		29.6	1448	0.29	49.0	SAI-d	
46	- El Khatouate	3324	0659	800	535	33.1	5.2	19.2	16.6	27.9	1314	0.40	65.8	SAS-d	
47	- Essaouira (ex Mogador)	3131	0947	5	295	22.2	9.6	15.9	16.9	12.6	1091	0.27	80.3	AS-cc	
48	- Erfoud (*)	3128	0410	955	70	41.0	2.0	21.5	21.4	39.0	1476	0.05	6.2	HAS-f	
49	- Fès	3402	0500	415	573	35.8	4.3	20.1	17.8	31.5	1376	0.42	62.4	SAS-t	
50	- Figuig	3207	0114	900	128	42.5	3.5	23.0	20.9	39.0	1579	0.08	11.3	AI-t	
51	- Goulmima	3142	0456	950	130	39.0	0.8	19.9	20.5	38.2	1366	0.10	11.7	AI-ff	
52	- Gourrama	3220	0405	1360	155	37.8	0.0	18.9		37.8	1297	0.12	14.1	AI-ff	
53	- Guelmime (ex Goulimine)	2859	1003	300	132	35.4	6.5	21.0		28.9	1438	0.09	15.7	AI-d	
54	- Guercif	3414	0321	360	199	37.3	3.8	20.6	18.8	33.5	1411	0.14	20.4	AI-t	
55	- Had Kourte	3438	0544	80	551	35.5	5.0	20.3	19.0	30.5	1390	0.40	62.0	SAS-d	
56	- Ida-ou-Tanane (Peltier, 1982)			494	34.8		4.8	19.8		30.0	1359	0.36	56.5	SAI-t	
57	- Imilchil	3209	0544	2200	303	31.2	-5.2	13.0	11.0	36.4	892	0.34	28.6	SAS-gl	
58	- Imouzer-des- Ida-ou-Tanane	3041	0929	1310	532	32.0	2.0	17.0	15.1	30.0	1167	0.46	60.8	SH-f	
59	- Imouzer-des- Marmoucha	3328	0410	1650	502	30.9	-0.7	15.1	12.1	31.6	1036	0.48	54.4	SH-ff	
60	- Imzorène	3509	0351	60	305	32.2	6.0	19.1	15.1	26.2	1311	0.23	39.9	AS-d	
61	- Irherm	3006	0828	1730	186	32.8	-0.3	16.3	12.3	33.1	1115	0.17	19.4	AM-ff	
62	- Itzère	3253	0503	1650	362	34.3	-1.0	16.7	13.9	35.3	1143	0.32	35.2	SAI-ff	
63	- Jebha (ex Puerto Capaz)	3512	0440	10	292	29.5	5.9	17.7		23.6	1215	0.24	42.3	AS-d	
64	- Jemaa n'Tirhirt	2913	0926	1180	339	38.0	-0.2	18.9		38.2	1297	0.26	30.4	AS-ff	
65	- Kasba-Tadla	3236	0616	495	459	39.8	3.9	21.9	19.8	35.9	1500	0.31	43.9	SAI-t	
66	- Khmissète	3350	0604	460	542	32.5	5.3	18.9		27.2	1297	0.42	68.3	SAI-d	

## MAROC

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
67	- Khouribga	3253	0654	800	395	34.6	4.1	19.4	17.2	30.5	1328	0.30	44.4	SAI-t	
68	- Knitra	3416	0634	25	596	31.6	4.8	18.2		26.8	1249	0.48	76.3	SH-t	
69	- Ksar-es-Souk (Er-Rachidia)	3156	0426	1060	140	40.1	1.0	20.6	19.7	39.1	1411	0.10	12.3	AI-f	
70	- Laayoune	2709	1312	68	38	30.0	9.6	19.8		20.4	1359	0.03	6.4	HAI-cc	
71	- Lagouira	2056	1702	3	33	30.0	13.3	21.6		16.7	1486	0.02	6.8	HAI-	subtropical océanique
72	- Marrakech	3137	0802	470	250	38.3	4.5	21.4	19.9	33.8	1469	0.17	25.4	AM-t	
73	- Martil (Oued)	3537	0517	5	601	33.1	7.3	20.2	18.3	25.8	1387	0.43	79.9	SAS-c	
74	- Mechra Bel Ksiri	3435	0556	25	582	34.9	6.7	20.8	19.3	28.2	1428	0.41	70.8	SAS-d	
75	- Meknès	3352	0533	530	573	34.2	4.4	19.3	17.0	29.8	1325	0.43	66.0	SAS-t	
76	- Melilla	3517	0257	#50	401	32.6	7.4	20.0	18.2	30.8	1373	0.29	44.7	SAI-c	
77	- Merhaoua	3556	0403	1260	666	32.5	-2.3	15.1		34.8	1036	0.64	65.6	SH-ff	
78	- Midelt	3241	0443	1525	235	34.1	-0.3	16.9	14.5	34.4	1160	0.20	23.4	AM-ff	
79	- Mirleft	2935	1001	60	156	27.0	7.5	17.3		19.5	1184	0.13	27.4	AI-c	
80	- Missouri	3303	0359	900	159	41.0	0.1	20.6		40.9	1411	0.11	13.2	AI-ff	
81	- Mohammedia (ex Fedala)	3343	0724	10	431	26.6	8.1	17.4	17.7	18.5	1191	0.36	79.9	SAI-c	
82	- Monte Arraouite	3501	0300	180	265	28.4	6.2	17.3		22.2	1187	0.22	41.1	AS-d	
83	- Moulay Bou Azza	3315	0610	1070	606	33.5	1.7	17.6	16.4	31.8	1208	0.50	65.4	SH-f	
84	- Nador	3511	0256	3	329	30.7	7.1	18.6	18.0	22.9	1273	0.26	49.3	AS-c	
85	- Ouarzazate	3056	0654	1140	119	39.4	1.0	20.2	19.1	39.4	1387	0.09	10.6	AI-ff	
86	- Oued Lao	3227	0506	6	440	32.0	7.4	20.2	17.3	25.5	1383	0.32	59.2	SAI-c	
87	- Oued-Zem	3252	0634	780	426	35.0	3.8	19.4	17.1	31.2	1332	0.32	46.8	SAI-t	
88	- Oujda	3448	0156	460	335	34.0	3.7	19.0	17.1	30.6	1304	0.26	37.6	AS-t	
89	- Oudjete-es Soltane			450	573	33.0	3.8	19.8	17.6	30.0	1290	0.44	65.5	SAS-t	
90	- Outate Ouled el Haj	3321	0342	745	157	37.2	-1.0	18.1	16.9	38.2	1242	0.13	14.1	AI-ff	
91	- Outerbate	3209	0522	2140	245	32.5	-5.0	13.8		37.5	944	0.26	22.4	AS-gl	
92	- Rabat	3400	0650	65	510	28.5	7.7	18.1	17.7	20.8	1242	0.41	84.1	SAS-c	
93	- Ras Kebdana	3509	0226	240	293	28.6	8.0	18.3		20.6	1256	0.23	48.8	AS-c	
94	- Riche	3215	0430	1420	113	37.5	0.3	18.9		37.2	1297	0.09	10.4	AI-ff	
95	- Rissani	3117	0416	765	76	41.8	3.4	22.6	21.7	38.4	1551	0.05	6.8	HAS-t	
96	- Rommani (ex Marchand)	3333	0636	390	421	36.0	4.0	20.0	17.5	32.0	1373	0.31	45.1	SAI-t	
97	- Safi	3218	0915	15	336	29.7	8.4	19.1	18.9	21.3	1308	0.26	54.1	AS-c	
98	- Saka	3437	0325	760	373	36.5	2.2	19.4	16.9	34.3	1328	0.28	37.3	SAI-f	
99	- Segangane	3509	0300	110	420	28.1	5.5	16.8		22.6	1153	0.36	63.7	SAI-d	
100	- Semrir	3142	0549	2100	232	32.4	4.0	18.2	13.2	36.4	1249	0.19	21.9	AM-t	
101	- Settate	3300	0737	375	408	33.7	4.1	18.9	17.5	29.6	1297	0.31	47.3	SAI-t	
102	- Sidi Bennour	3240	0826	185	317	35.1	5.1	20.1	18.6	30.0	1380	0.23	36.2	AS-d	
103	- Sidi Bettache (ex La Cazette)	3340	0659	300	507	32.2	6.0	19.1	17.6	26.2	1311	0.39	66.4	SAS-d	
104	- Sidi Ifni	2922	1011	66	168	24.1	11.9	18.1		12.1	1236	0.14	47.6	AI-cc	
105	- Sidi Kacem	3413	0543	85	493	36.3	4.4	20.4	18.4	31.9	1397	0.35	53.0	SAI-t	
106	- Sidi Slimane	3416	0555	30	455	36.5	4.3	20.4	18.7	32.2	1400	0.33	48.5	SAI-t	
107	- Skoura-des Ahl el Oust	3104	0632	1225	110	39.0	1.0	20.0		38.0	1373	0.08	9.9	AI-f	
108	- Souk el Arba du Rharb	3442	0600	30	606	35.3	5.8	20.6	19.2	29.5	1411	0.43	70.5	SAS-d	
109	- Souk el Had du Draa	3155	0932	250	388	34.1	6.8	20.3	19.2	27.7	1390	0.28	48.0	SAI-d	
110	- Souk et-Tleta du Rharb	3437	0610	10	587	33.2	5.3	19.3	18.2	27.9	1321	0.44	72.2	SAS-d	
111	- Smara (*)	2700	1200	#300	45	36.9	8.0	22.5		28.9	1544	0.03	5.3	HAI-c	
112	- Tafraoute	2943	0901	1050	192	38.0	2.0	20.0	21.1	36.0	1373	0.14	18.3	AI-f	
113	- Tagounite des Ktaoua	2958	0537	600	54	43.4	3.8	23.6	22.8	39.6	1620	0.03	4.7	HAS-t	
114	- Talate n'Yacoub			1400	544	34.0	-1.0	16.5		35.0	1133	0.48	53.3	SH-ff	
115	- Taliouine	3032	0755	1040	232	32.5	1.2	16.9	19.7	31.3	1157	0.20	25.4	AM-f	
116	- Talsinnt	3232	0327	1320	182	37.0	-0.8	18.1	18.8	37.8	1242	0.15	16.5	AM-ff	
117	- Taltemcène	2952	0903	1760	370	35.8	-0.2	17.8		36.0	1222	0.30	35.2	SAI-ff	
118	- Tamanar	3100	0940	360	313	37.4	6.8	22.1	19.9	30.6	1517	0.20	35.1	AM-d	
119	- Tantan	2827	1109	200	112	29.1	9.6	19.4		19.5	1328	0.08	19.7	AI-cc	
120	- Taourirte	3425	0253	390	237	37.3	3.8	20.6	18.8	33.5	1411	0.17	24.3	AM-t	
121	- Taouz	3106	0400	#690	57	43.0	3.3	23.2		39.7	1589	0.04	1.4	HAS-t	
122	- Tarfaya	2758	1300	6	41	28.8	9.0	18.5	19.7	19.0	1270	0.03	7.4	HAI-cc	
123	- Taroudannt	3028	0853	255	231	36.3	5.1	20.7	19.7	31.2	1421	0.16	25.4	AM-d	
124	- Tata	2945	0759	900	100	43.3	5.8	24.6	23.7	37.5	1685	0.06	9.1	HAS-d	
125	- Tazenakte	3035	0712	1400	120	33.8	1.0	17.4		32.8	1194	0.10	12.5	AI-ff	
126	- Tedderss			530	478	34.2	4.0	19.1		30.2	1311	0.36	54.3	SAI-t	
127	- Tendrara	3304	0159	1460	209	37.5	0.0	18.8	16.6	37.5	1287	0.16	19.1	AM-ff	
128	- Tiflète	3354	0618	320	522	35.8	5.6	20.7	18.3	30.2	1421	0.37	59.3	SAS-d	
129	- Tinerhir	3128	0530	1340	285	38.0	0.3	19.2		37.7	1314	0.14	16.8	AI-ff	
130	- Tinnjad			1000	104	39.2	1.0	20.1		38.2	1380	0.08	9.3	AI-ff	
131	- Tizgui			1550	530	35.0	2.3	18.7		32.7	1280	0.41	55.6	SAS-f	
132	- Tiznite	2942	0943	225	189	33.3	7.3	20.3	19.4	26.0	1399	0.14	24.9	AM-c	
133	- Tizi n'Test	3052	0822	2100	544	29.1	-1.4	13.9		30.5	951	0.57	61.2	SH-ff	
134	- Tizi Ouzli			1300	438	34.0	1.0	17.5	14.1	33.0	1201	0.36	45.5	SAI-ff	
135	- Zagora	3019	0552	900	74	43.6	3.3	24.5	23.1	40.3	1610	0.05	6.3	HAS-t	
136	- Zaouia Lalla Takerkoust	3121	0809	655	274	36.6	5.0	20.8	19.4	31.6	1428	0.19	29.7	AM-d	



ALGERIE														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
186	- El Golea	3034	0252E	397	50	41.6	3.1	22.4		38.5	1534	0.03	4.5	HAI-t
187	- El Kantara	3513	0543E	513	241	36.3	3.0	19.7	17.8	33.3	1349	0.18	24.8	AM-f
188	- El Nouadeur	3555	0144W	850	506	34.5	3.2	18.9	15.7	31.3	1294	0.39	55.4	SAS-t
189	- El Oued	3322	0653E	70	73	42.9	4.1	23.5	22.0	38.8	1613	0.05	6.4	HAS-t
190	- Ghardaïa	3229	0340E	530	68	42.6	4.6	23.6	21.4	38.0	1620	0.04	6.1	HAS-t
191	- Ghazaouet (Nemours)	3506	0151W	4	410	29.0	7.0	18.0	17.1	22.0	1236	0.33	64.0	SAI-c
192	- Ghriiss (Thiersville)	3515	0010E	495	429	36.8	1.5	19.2	16.7	35.3	1314	0.33	41.6	SAI-f
193	- Guellatja	3520	0448E	410	168	37.9	3.9	20.9	19.5	34.1	1435	0.12	16.9	AI-t
194	- Guelma	3629	0726E	270	619	35.4	4.2	19.8	17.3	31.2	1359	0.46	68.0	SH-t
195	- Ighil-Izane (Relizane)	3545	0033E	75	325	37.7	4.5	21.1	18.4	33.3	1448	0.22	33.6	AS-t
196	- Illizi (Fort Polignac)	2654	0824E	596	17	41.2	4.6	22.9		36.6	1572	0.01	1.6	ES-t
197	- In Salah	2712	0228E	294	17	44.7	5.7	25.2		39.0	1730	0.01	1.5	ES-d
198	- Khemisti (Bourbaki)	3540	0158E	865	443	35.5	1.3	18.4	15.3	34.2	1263	0.35	44.4	SAI-f
199	- Laghouat	3348	0253E	796	167	36.0	2.3	19.2	17.3	33.7	1314	0.13	17.0	AI-f
200	- Mascara	3524	0008E	590	511	34.8	4.1	19.5	17.0	30.7	1335	0.38	57.1	SAS-t
201	- M'chedallah (Maillot)	3622	0416E	465	571	37.0	3.3	20.2	17.6	33.7	1383	0.41	58.1	SAS-t
202	- M'doukal	3507	0511	430	196	37.1	3.6	20.5		33.5	1397	0.14	20.0	AI-t
203	- Mecheria	3333	0016W	1170	293	35.1	1.5	18.3	15.9	33.6	1256	0.23	29.9	AS-f
204	- Mellakou (Trois-marabouts)	3518	0111W	152	528	32.5	6.5	19.5	17.7	26.0	1338	0.39	69.6	SAS-d
205	- Mostaganem	3555	0006E	26	377	28.4	9.0	18.7	18.2	19.4	1284	0.29	67.2	SAI-f
206	- M'sila	3542	0433E	469	226	39.2	2.8	21.0	19.0	36.4	1441	0.16	21.3	AM-f
207	- Oran (IM)	3455	0039W	11	428	28.7	9.1	18.9	18.4	19.6	1297	0.33	74.7	SAI-cc
208	- Ouallene	2437	0114E	350	21	44.6	8.8	26.7		35.8	1833	0.01	2.0	ES-c
209	- Ouargla	3157	0524E	141	38	43.2	4.4	23.8		38.8	1634	0.02	3.4	HAI-t
210	- Oued Blissen	3448	0048W	850	358	35.1	0.6	17.9	14.0	35.7	1225	0.29	34.3	SAI-ff
211	- Ouled Djellal	3425	0504E	196	136	41.7	2.6	22.2	20.4	39.1	1520	0.09	11.9	AI-f
212	- Saïda	3450	0010E	872	430	36.2	2.6	19.4	16.5	33.6	1332	0.32	43.8	SAI-f
213	- Sedrata	3608	0732E	812	465	33.9	0.3	17.1	14.3	33.6	1174	0.40	47.4	SAS-ff
214	- Sétif	3611	0525E	1081	469	32.5	0.4	16.5	13.9	32.1	1129	0.42	50.1	SAS-rr
215	- Sidi Aïssa	3553	0346E	658	309	39.0	0.7	19.4	16.6	37.3	1328	0.23	28.4	AS-ff
216	- Sidi Bel Abbès	3511	0038W	480	395	33.2	1.9	16.8	15.5	31.3	1154	0.34	43.2	SAI-f
217	- Sour El Ghozlane (Aumale)	3609	0342E	905	521	33.4	2.0	17.7	14.6	31.4	1215	0.43	56.9	SAS-f
218	- Staoueli	3645	0253E	122	694	37.1	5.9	21.5	17.1	31.2	1476	0.47	76.3	SH-d
219	- Tadjemout	3353	0231E	895	174	35.5	1.2	18.4	16.2	34.3	1260	0.14	17.4	AI-f
220	- Taadmit	3417	0259E	1036	237	34.5	0.5	17.5	15.8	34.0	1201	0.20	23.9	AM-ff
221	- Tamanrasset	2247	0531E	1378	49	34.8	4.2	19.5		30.6	1338	0.04	5.5	HAI-t
222	- Tebessa	3524	0807E	385	338	34.8	1.9	18.4	15.9	32.9	1260	0.27	35.2	AS-f
223	- Temassinine (Fort Flatters)	2809	0643E	#600	19	42.9	3.2	23.1		39.7	1582	0.01	1.6	ES-t
224	- Tenès (HM)	3631	0118E	59	545	30.9	8.6	19.8	18.5	22.3	1356	0.40	83.8	SAS-c
225	- Tiaret	3523	0120E	1023	622	33.0	1.7	17.4	14.8	31.3	1191	0.52	68.2	SH-f
226	- Timimoun	2900	0010E	295	23	45.1	4.8	25.0		40.3	1713	0.01	2.0	ES-t
227	- Tindouf	2740	0808W	431	48	44.8	5.6	25.2		39.2	1730	0.03	4.2	HAI-d
228	- Tissemsilt (Vialar)	3537	0149E	889	429	34.5	0.7	17.6	14.3	33.7	1208	0.36	43.7	SAI-ff
229	- Tlemcen	3453	0119W	806	638	31.4	5.8	16.8	16.4	25.6	1277	0.50	85.5	SH-d
230	- Toggourt	3307	0604E	69	58	41.7	3.6	22.7	21.5	38.1	1555	0.04	5.2	HAS-t

## III - TUNISIE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Station	Lat. N ° ' E ° '	Long. ° ' "	Alt. m	P mm	M	m	$\frac{M+m}{2}$	t	M-n	ETP	$\frac{P}{ETP}$	Q3	Interprétation Classification
231	Aïn el Asker	3634	1030	90	419	35.6	4.5	20.1	17.9	31.1	1376	0.30	46.2	SAI-t
232	Aïn Khettan	3638	1024	210	543	33.6	6.1	19.9	17.5	27.5	1363	0.40	67.7	SAS-d
233	Ariana (INRAT)	3651	1011	10	480	32.8	5.5	19.2	18.1	27.3	1314	0.37	60.3	SAS-d
234	Bach Hamba	3657	0857	96	499	35.2	5.0	20.1	17.8	30.2	1380	0.36	56.7	SAI-d
235	Béja	3543	0842	739	671	35.1	5.2	20.2	17.8	29.9	1387	0.48	77.0	SH-d
236	Ben Gardane	3308	1113	12	181	35.8	3.9	19.9	19.4	32.0	1366	0.13	19.4	AI-t
237	Bir Drassen	3638	1041	150	500	32.5	6.6	19.6	17.6	25.9	1342	0.37	66.2	SAS-d
238	Bir M'cherga	3631	0958	155	440	34.1	4.8	19.5	17.7	29.3	1335	0.33	51.5	SAI-t
239	Bizerte Ville	3714	0949	3	610	29.2	8.6	18.9	19.0	21.3	1297	0.47	98.2	SH-c
240	Borj Bourguiba (Bj Le Boeuf) *	3212	1002	393	101	36.0	4.0	20.0	21.0	32.0	1373	0.07	10.8	AI-t
241	Borj el Khadra (Fort Saint) *	3016	0915	350	36	42.5	2.3	22.4	21.0	40.1	1538	0.02	3.1	HAI-f
242	Bou Arada	3620	0938	246	440	37.5	4.5	21.0	19.0	33.0	1441	0.30	45.7	SAI-t
243	Bou Deries *	3514	0829	1250	425	33.5	1.5	17.5		32.0	1201	0.35	45.6	SAI-f
244	Bou Fichta	3618	1028	14	344	32.0	6.0	19.0	19.0	26.0	1304	0.26	45.3	AS-d
245	Bou Thadi *	3501	1012	120	220	32.0	6.0	19.0		26.0	1304	0.17	29.0	AM-d
246	Cap Bon	3704	1102	125	585	28.3	9.5	18.9	18.1	18.8	1297	0.45	106.7	SH-cc
247	Chahal	3436	1021	100	170	35.0	6.0	20.5	18.5	29.0	1407	0.12	20.1	AI-d
247	Cherfech	3650	1003	5	436	32.3	6.0	19.2	17.1	26.3	1314	0.33	56.9	SAI-d
248	Chott Meriem	3555	1033	15	332	30.7	7.6	18.8	17.8	23.1	1290	0.26	49.3	AS-c
249	Chouiggi	3653	0948	80	471	33.9	3.9	18.9	16.8	30.0	1297	0.36	53.9	SAI-t
250	Dar Chichou	3658	1105	32	580	31.9	8.3	20.1	18.3	23.6	1380	0.42	84.3	SAS-c
251	Dehibat *	3201	1045	320	90	39.5	6.0	22.8	21.0	33.5	1562	0.06	9.2	HAS-d
252	Dernaïa *	3507	0831	1000	363	34.5	1.8	18.2	15.5	32.7	1250	0.29	38.1	SAI-f
253	Djedeida	3651	0956	21	410	34.5	4.3	19.4	17.5	30.2	1332	0.31	46.6	SAI-t
254	Djeradou	3617	1021	15	326	34.9	6.4	20.7	18.3	28.5	1474	0.22	39.2	AS-d
255	Djerba	3353	1051	5	207	32.6	8.3	20.5	20.0	24.3	1407	0.15	29.2	AM-c
256	Djouggar	3616	0952	315	500	36.4	4.5	20.5	17.9	31.9	1404	0.36	53.8	SAI-t
257	El Alem	3555	1004	62	307	37.5	4.4	21.0	18.0	33.1	1438	0.21	31.8	AS-t
258	El Aroussa	3622	0928	200	405	37.0	3.3	20.1	17.5	33.7	1383	0.29	41.2	SAI-t
259	El Djem	3517	1042	112	267	36.7	4.9	20.8	19.2	31.8	1428	0.19	29.8	AM-t
260	Enfida	3607	1023	15	373	35.4	5.9	20.7	19.2	29.5	1421	0.26	43.4	AS-d
261	Fahs (Pont du)	3623	0954	320	380	37.6	4.4	21.0	18.5	33.2	1441	0.26	39.3	AS-t
262	Feriana	3457	0834	754	230	36.0	2.5	19.3	16.3	33.5	1325	0.17	23.5	AM-f
263	Gabès	3353	1007	2	175	32.7	5.9	19.3	19.3	26.8	1325	0.13	22.4	AI-d
264	Gafour	3618	0919	320	390	36.5	3.1	19.8	17.4	33.4	1359	0.29	40.0	SAI-t
265	Gafsa	3425	0849	314	152	38.1	3.9	21.0	19.7	34.2	1441	0.11	15.2	AI-t
266	Galite (Ile de la)	3732	0856	30	525	28.6	10.3	19.5	18.7	18.3	1335	0.39	98.4	SH-cc
267	Ghardimaou	3626	0829	195	525	35.9	4.4	20.2	17.4	31.5	1383	0.38	57.2	SAS-t
268	Goubellat	3633	0941	300	390	38.4	4.4	21.4	17.6	34.0	1469	0.27	39.3	AS-t
269	Grombalia	3636	1030	50	475	32.9	5.5	19.2	17.6	27.4	1318	0.36	59.5	SAI-d
270	Hammamet	3608	1036	5	388	31.6	7.2	19.4	18.9	24.4	1332	0.29	54.5	SAI-c
271	Hendi Zitoun	3551	1007	74	336	36.0	4.8	20.4	17.9	31.2	1400	0.24	36.9	AS-t
272	Jendouba (Souk el Arba)	3629	0848	143	449	37.4	3.8	20.6	17.8	33.6	1414	0.32	45.8	SAI-t
273	Kairouan	3540	1006	68	286	37.7	4.5	21.1	19.1	33.2	1448	0.20	29.5	AS-t
274	Kasserine	3511	0848	689	320	34.5	2.2	18.4	16.4	32.3	1263	0.25	34.0	AS-f
275	Kebili	3342	0859	56	89	42.2	3.1	22.7	20.9	39.1	1558	0.06	7.8	HAS-f
276	Kelibia	3650	1106	82	434	32.3	8.2	20.3	18.6	24.1	1393	0.31	61.8	SAI-c
277	Khledia	3639	1012	80	410	35.1	3.3	19.2	17.2	31.8	1318	0.31	44.2	SAI-t
278	Korbous	3648	1033	25	540	31.8	9.6	20.7	19.2	22.2	1421	0.38	83.0	SAS-cc
279	Ksar Boukriss	3514	0937	550	500	33.0	4.5	18.8	16.1	28.5	1287	0.39	60.2	SAS-t
280	Ksar Rheriss (Mezzouna)	3439	0950	25	138	35.3	5.5	20.4	18.3	29.8	1400	0.10	15.9	AI-d
281	Ksar Rhilane *	3301	0938	250	70	42.0	2.5	23.3	21.5	39.5	1596	0.04	6.1	HAS-f

TUNISIE														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
282	- Ksar Tyr	3636	0945	126	440	35.0	5.0	20.0	18.0	30.0	1373	0.32	50.3	SAI-d
283	- Le Kef	3616	0842	665	509	33.6	3.1	18.4	16.2	30.5	1263	0.40	55.1	SAS-t
284	- <u>Le Sers</u>	<u>3604</u>	<u>0902</u>	<u>487</u>	<u>390</u>	<u>36.8</u>	<u>2.2</u>	<u>19.5</u>	<u>15.7</u>	<u>34.6</u>	<u>1338</u>	<u>0.29</u>	<u>38.7</u>	SAT-f
285	- Mahdia *	3530	1104	10	360	31.0	7.7	19.4	18.3	23.5	1332	0.27	52.5	AS-c
286	- Maktar	3549	0912	937	490	32.2	1.7	17.0	14.3	30.5	1167	0.42	54.9	SAS-f
287	- Mateur	3702	0904	20	559	34.4	6.3	20.4	18.2	28.1	1397	0.40	68.2	SAS-d
288	- Matmata	3332	1000	441	239	35.2	5.4	20.3	18.4	29.8	1393	0.17	27.5	AM-d
289	- Medenine	3321	1920	110	141	36.8	6.2	21.5	20.5	30.6	1476	0.09	15.8	AI-d
290	- Medjez el Bab	3639	0937	54	408	34.9	5.0	20.0	18.0	29.9	1373	0.30	46.8	SAI-d
291	- Menzel Bou Zelfa	3643	1036	60	467	31.5	5.3	18.4	17.2	26.2	1263	0.37	61.1	SAS-d
292	- Merja Khereddine	3630	0855	178	488	37.7	3.4	20.6	17.6	33.9	1411	0.35	49.4	SAI-t
293	- Messaoudia	3540	1006	70	261	35.3	5.7	20.5	18.7	29.6	1407	0.19	30.2	AM-d
294	- Metlaoui	3419	0824	234	137	37.7	5.5	21.6	20.3	32.2	1483	0.09	14.6	AI-d
295	- Michaud	3704	0937	11	600	33.6	5.8	19.7	18.0	27.8	1352	0.44	74.0	SAS-d
296	- Monastir/Skanès	3540	1045	3	331	30.7	7.6	19.2	18.4	23.1	1318	0.25	49.1	AS-c
297	- Mrâissa	3646	1034	150	540	32.7	6.8	19.8	18.2	25.9	1356	0.40	71.5	SAS-d
298	- Mrira	3647	1020	15	410	34.5	4.8	19.7	17.7	29.7	1349	0.30	47.3	SAI-t
299	- Nabeul	3627	1044	65	424	32.3	6.5	19.4	18.4	25.8	1332	0.32	56.4	SAI-d
300	- Nakta	3439	1030	25	149	31.5	5.5	18.5	18.6	26.0	1270	0.12	19.7	AI-d
301	- Oued el Abid	3652	1043	60	610	33.6	7.0	20.3	18.5	26.6	1393	0.44	78.7	SAS-c
302	- Oued Dridja	3606	1008	474	430	34.8	5.0	19.9	17.5	29.8	1366	0.31	49.5	SAI-d
303	- Oued Mellègue	3619	0842	270	370	36.2	4.7	20.7	18.0	31.5	1421	0.26	40.3	AS-t
304	- Oued Zerga	3640	0925	108	500	36.7	2.6	19.7	16.4	34.1	1349	0.37	50.3	SAS-t
305	- Oued Zit	3624	1019	85	379	35.3	4.4	19.9	17.2	30.9	1363	0.28	42.1	SAI-t
306	- Ousslatia I	3551	0936	520	421	34.2	3.4	18.8	17.1	30.8	1290	0.33	46.9	<b>SAI-t</b>
307	- Ousslatia II	3548	0938	500	370	34.2	3.4	18.8	17.1	30.8	1290	0.29	41.2	SAI-t
308	- Ouzra	3636	1010	100	500	35.0	5.3	20.2	17.0	29.7	1383	0.36	57.7	SAS-d
309	- Porto Farina *	3720	1014	10	547	33.5	7.5	20.5	19.0	26.0	1407	0.39	76.4	SAS-c
310	- Rebiba	3545	0822	610	400	36.0	3.8	19.9	17.3	32.2	1366	0.29	42.6	SAI-t
311	- Redeyef *	<u>3424</u>	<u>0809</u>	<u>586</u>	<u>130</u>	<u>36.5</u>	<u>2.4</u>	<u>19.5</u>	<u>18.5</u>	<u>34.1</u>	<u>1338</u>	<u>0.10</u>	<u>13.1</u>	AI-f
312	- Kemada	<u>3219</u>	<u>1024</u>	<u>301</u>	<u>70</u>	<u>38.7</u>	<u>5.7</u>	<u>22.2</u>	<u>20.9</u>	<u>33.0</u>	<u>1523</u>	<u>0.05</u>	<u>7.3</u>	IAS-c
313	- Rohia	3539	0912	625	330	37.3	2.1	19.7	17.6	35.2	1353	0.24	32.1	AS-f
314	- Salambo	3653	1021	5	400	26.8	7.2	17.0	18.4	19.8	1167	0.34	69.3	SAI-c
315	- Sakiet (Mine)	3613	0822	750	500	34.6	2.5	18.6	15.4	32.1	1273	0.39	53.4	SAS-f
316	- Saouaf	3613	1017	250	410	33.9	6.2	20.0	19.5	27.7	1373	0.30	50.8	SAI-d
317	- Sbeitla (HrTouil)	3519	0940	650	313	35.9	1.7	18.8	16.0	34.2	1290	0.24	31.4	AS-f
318	- Sbeitla			282	36.0	1.7	18.9		34.3	1297	0.22	28.2	AS-f	
319	- Sbikha *	3551	1001	70	308	36.0	4.8	20.4	17.9	31.2	1400	0.22	33.9	AS-t
320	- Sfax	3443	1041	21	197	30.8	6.8	18.8	18.9	24.0	1290	0.15	28.0	AM-d
321	- Selma	3658	0955	20	507	33.5	5.3	19.4	17.3	28.2	1332	0.38	61.7	SAS-d
322	- Sidi Ayed	3621	0923	253	390	34.9	4.8	19.9	17.5	30.1	1363	0.29	44.4	SAI-t
323	- Sidi Boubeker	3615	0948	350	480	34.3	4.5	19.4	17.0	29.8	1332	0.36	55.2	SAS-t
324	- Sidi Bouzid (Gamouda)	3502	0930	350	247	36.0	5.0	20.5	19.0	31.0	1407	0.18	27.3	AM-d
325	- Sidi Messaoud	3603	0950	300	375	35.3	5.4	20.4	17.6	29.9	1397	0.27	43.0	AS-d
326	- Sidi Saad (Oued Zeroud)	3521	0946	240	285	37.0	7.0	22.0		30.0	1510	0.19	32.2	AM-c
327	- Sidi Tabet	3655	1003	16	460	34.5	4.7	19.6	17.3	29.8	1345	0.34	52.9	SAI-t
328	- Siliana	3605	0922	400	410	35.1	3.6	19.4	16.7	31.5	1328	0.31	44.6	SAI-t
329	- Smindja	3628	1002	120	430	36.9	3.1	20.0	17.3	33.8	1373	0.31	43.6	SAI-t
330	- Soliman	3642	1030	12	458	31.1	5.7	18.4	17.8	25.4	1263	0.37	61.8	SAS-d
331	- Sousse	3549	1039	6	327	31.4	6.9	19.2	18.5	24.5	1318	0.25	45.8	AS-d
332	- Tadjerouine	3555	0827	483	330	36.5	2.0	19.3	16.3	34.5	1325	0.25	32.8	AS-f
333	- Takelsa	3650	1040	125	400	32.4	7.9	20.2	18.0	24.5	1383	0.29	56.0	SAI-c
334	- Tatahouine	3255	1027	196	128	37.9	4.8	21.4	20.2	33.1	1469	0.09	13.3	AI-t
335	- Tebourba	3650	0950	29	450	36.5	4.9	20.7	17.3	31.6	1421	0.32	48.8	SAI-t
336	- Teboursouk	3527	0915	410	523	33.4	4.9	19.2	16.7	28.5	1318	0.40	62.9	SAS-t

## TUNISIE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
337	- Testour	3633	0927	277	510	35.1	5.4	20.3	17.7	29.7	1390	0.37	58.9	SAS-d	
338	- Thala	3534	0842	1020	473	34.4	1.8	18.1	15.3	32.6	1242	0.38	49.8	SAS-f	
339	- Thibar	3632	0906	365	612	35.4	5.7	20.6	17.8	29.7	1414	0.43	70.7	SAS-d	
340	- Tindja	3709	0945	9	512	31.9	7.0	19.5	18.2	24.9	1335	0.38	70.5	SAS-c	
341	- Tozeur	3355	0808	46	89	40.4	5.3	22.9	21.3	35.1	1572	0.06	8.7	HAS-d	
342	- Tunis Aouina	3651	1015	3	415	31.7	7.3	19.5	18.3	24.4	1338	0.31	58.3	SAI-c	
343	- Tunis Manoubia	3647	1012	66	420	32.6	6.4	19.5	18.0	26.2	1338	0.32	54.9	SAI-d	
344	- Utique	3703	1003	28	488	33.1	6.5	19.8	18.4	26.6	1359	0.36	62.9	SAI-d	
345	- Zaafrane	3608	0848	555	480	33.4	2.2	17.8	15.5	31.2	1222	0.39	52.8	SAS-f	
346	- Zaghouan	3624	1008	195	496	32.6	6.7	19.7	17.9	25.9	1352	0.37	65.6	SAS-d	
347	- Zauem (Sk el Khemis, Bou Salem)	3636	0857	128	476	37.8	3.8	20.8	17.9	34.0	1428	0.33	48.0	SAI-t	
348	- Zarzis *	3330	1107	11	203	33.0	7.5	20.2	20.0	25.5	1387	0.14	26.9	AI-c	
349	- Zelfane *	3523	0844	950	400	34.6	2.0	18.3	16.0	32.6	1256	0.32	42.1	SAI-f	

## IV - LIBYE

Station	Lat. N	Long. E	Alt. m	P mm	M °C	m °C	M+m / 2	t	M-m	ETP	P / ETP	Q3	Interpretation Classification	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
350	- Ajedabia	3045	2013	90	134	34.8	6.6	20.7	20.8	28.2	1421	0.09	16.2	AI-d
351	- Agheila	3016	1913	12	93	29.7	7.6	18.6	20.0	22.1	1277	0.07	14.4	AI-c
352	- Awjila (Jalo)	2902	2134	51	10	37.8	5.2	21.5	22.4	32.6	1476	0.01	0.02	EI-d
353	- Azizia	3231	1301	116	223	37.6	5.4	21.5	20.8	37.2	1476	0.15	23.5	AM-d
354	- Bardia	3146	2506	100	129	29.2	8.8	19.0	19.7	20.2	1304	0.09	21.7	AI-c
355	- Bengashir	3240	1310	77	282	36.9	5.3	21.1	20.3	31.6	1448	0.19	30.3	AM-d
356	- Benghazi	3206	2004	3	255	30.1	8.8	19.4	19.8	21.3	1332	0.19	41.0	AM-c
357	- Benina Airport	3205	2016	122	257	32.2	8.2	20.2		24.0	1387	0.19	36.5	AM-c
358	- Beni Walid	3145	1400	230	62	37.6	5.9	21.7	20.6	31.7	1489	0.04	6.6	HAS-d
359	- Bir Ghanem	3218	1233	143	144	39.8	7.6	23.7	22.5	32.2	1627	0.09	15.1	AI-c
360	- Derna	3247	2239	10	274	28.7	7.7	18.2	19.0	21.0	1249	0.22	44.8	AS-c
361	- El Abiar	3211	2036	290	261	32.8	4.7	18.7	18.4	28.1	1284	0.20	31.8	AM-t
362	- El Merj	3229	2052	290	404	31.5	5.1	18.3	17.7	26.4	1256	0.32	52.5	SAI-d
363	- El Wotia	3238	1145	80	85	38.3	5.2	21.7	20.4	33.1	1489	0.06	8.7	HAS-d
364	- FaIdiya	3242	2155	789	400	27.0	4.0	15.5		23.0	1064	0.38	60.2	SAS-d
365	- Fataya (Derna)	3240	2241	185	229	28.3	5.5	16.9		22.8	1160	0.20	35.0	AM-d
366	- Fuehat (Benghazi)	3204	2006	19	247	34.3	8.4	20.6	20.5	24.4	1414	0.17	34.5	AM-c
367	- Garabulli	3344	1343	41	304	36.3	7.0	21.6	20.3	29.3	1483	0.21	35.2	AS-c
368	- Garian	3210	1300	721	342	32.8	4.8	18.8	18.0	28.0	1290	0.27	41.9	AS-t
369	- Ghadamès	3008	0930	326	36	42.5	2.3	22.4	22.2	40.2	1538	0.02	3.0	HAI-f
370	- Ghat	2458	1011	566	15	42.1	7.7	24.9	25.5	34.4	1709	0.01	1.5	ES-c
371	- Gharlat	3024	1335	500	35	37.2	3.9	20.6	20.2	33.3	1414	0.02	3.6	HAI-t
372	- Giosc (Jawsh)	3200	1140	238	109	40.1	6.9	23.5	21.8	33.2	1613	0.07	11.1	HAI-d
373	- Gusbat (Kussabat)	3234	1402	320	314	33.4	6.6	20.0	19.2	26.8	1373	0.23	40.0	AS-d
374	- Khoms (Homs)	3239	1416	18	261	31.8	8.0	19.9		23.8	1366	0.19	7.4	AM-c
375	- Hon	2908	1557	260	31	39.3	2.8	21.0	21.3	36.5	1441	0.02	2.9	HAI-f
376	- Jarabub	2949	2432	6	11	38.2	6.6	22.4	22.1	31.6	1538	0.01	1.2	EI-d
377	- Jeffren	3203	1231	680	256	35.9	4.6	20.2	19.2	31.3	1387	0.18	27.9	AM-t
378	- Jerdes el Abid	3218	2055	653	285	31.1	5.0	18.0	16.9	26.1	1236	0.23	37.5	AS-d
379	- Kufra	2413	2320	381	2	38.3	6.5	22.4	23.7	31.9	1538	0.01	0.2	EI-d
380	- Marada	2913	1913	47	16	36.8	5.9	21.3	22.0	30.9	1462	0.01	1.8	HAI-d
381	- Marawa	3229	2124	510	258	31.7	5.0	18.3	17.6	26.7	1256	0.20	33.2	AM-d
382	- Marsa Susa (Apollonia)	3254	2159	6	369	31.4	10.1	20.7	20.5	21.3	1421	0.26	59.0	AS-cc
383	- Mekhilli	3210	2217	205	55	37.6	4.6	21.1	20.1	33.0	1448	0.04	5.7	HAS-t
384	- Misurata	3222	1505	20	282	32.4	7.3	19.8	20.9	25.1	1359	0.21	38.4	AS-c
385	- Mizda	3126	1258	410	69	38.1	3.5	20.8	20.1	34.6	1428	0.05	6.8	HAS-t
386	- Murzuk	2555	1354	395	12	42.3	2.9	22.6	22.8	39.4	1551	0.01	1.0	ES-f

## LIBYE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
387	- Nalut	3151	1059	639	142	35.0	2.9	18.9	18.6	32.1	1297	0.11	15.1	AI-f	
388	- Qubba	3246	2215	607	353	27.4	4.9	16.1		22.5	1105	0.32	54.3	SAI-t	
389	- Rejma	3204	2004	322	256	30.6	6.5	18.6	18.7	24.1	1277	0.20	36.4	AM-d	
390	- Sabratha	3247	1229	10	211	32.0	6.6	19.3	19.7	25.4	1325	0.16	28.4	AM-d	
391	- Shahat (Cyrène)	3249	2151	621	584	27.9	4.2	16.0	15.8	23.7	1098	0.53	85.2	SH-t	
392	- Sebha	2107	1426	440	10	39.9	5.0	22.5	23.2	34.9	1541	0.006	1.0	EI-d	
393	- Sinawen	3101	1036	490	50	40.0	3.2	21.6	20.9	36.8	1483	0.04	4.6	HAI-t	
394	- Syrte	3113	1635	20	180	31.1	8.1	19.6	20.4	23.0	1345	0.13	26.7	AI-c	
395	- Soluk	3140	2015	61	159	34.1	5.9	20.0	19.8	28.2	1373	0.12	19.2	AI-d	
396	- Tarhuna	3226	1338	430	263	35.2	5.5	20.3	19.4	29.7	1393	0.19	30.2	AM-d	
397	- Teknis	3228	2107	440	276	32.1	4.6	18.3	17.7	27.5	1256	0.22	34.4	AS-t	
398	- Tobruk (City)	3202	2359	46	127	28.3	8.9	18.6	19.7	19.4	1277	0.10	21.8	AI-c	
399	- Tobruk (el Adem Nas'r Airport)	3152	2355	150	101	31.6	6.5	19.0		25.1	1303	0.08	13.8	AI-d	
400	- Tocra	3232	2035	13	300	29.9	10.1	20.0		19.8	1373	0.22	51.7	AS-cc	
401	- Tolmeitha	3243	2057	5	309	29.2	10.2	19.7	19.9	19.0	1352	0.23	55.6	AS-cc	
402	- Tripoli	3254	1310	22	355	30.8	7.6	19.2	19.5	23.2	1318	0.27	52.4	AS-c	
403	- Zawia	3246	1343	20	248	34.3	6.5	20.4	20.3	27.8	1400	0.18	30.4	AM-d	
404	- Zella	2832	1734	195	8	38.9	4.5	21.7	22.6	34.4	1489	0.01	0.8	EI-t	
405	- Zliten	3229	1434	20	230	34.6	7.4	21.0	20.1	27.2	1441	0.16	28.8	AM-c	
406	- Zwara	3256	1207	12	227	30.7	6.8	18.7	19.4	23.9	1284	0.18	32.6	AM-d	

## V - EGYPTE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	Lat. N	Long. E	Alt. m	P mm	M °C	m °C	$\frac{M+m}{2}$	t °C	M-m	ETP mm	$\frac{P}{ETP}$	Q3	Interprétation Classification	
407 - Alexandria	3122	2957	32	191	30.5	9.2	19.9	20.2	21.3	1250	0.15	30.8	AM-cc	
408 - Assyut	2703	3101	70	5	37.3	6.3	21.8		31.0	1572	0.003	0.6	EI-d	
409 - Aswan	2405	3259	200	2	41.6	9.6	25.6	26.9	32.0	1757	0.001	0.2	EI-cc	
410 - Baha	2820	2854	20	6	36.7	4.7	20.7	21.5	32.0	1421	0.004	0.6	EI-t	
411 - Baltim	3133	3106	185	30	30.5	12.0	21.3	20.9	18.5	1395	0.04	5.6	HAI-cc	
412 - Beni Suef	2904	3106	28	8	36.7	5.0	20.9	21.5	20.9	1435	0.006	1.3	HAI-d	
413 - Bilbeis	3024	3135	20	20	34.6	8.0	21.3	20.7	26.6	1462	0.010	2.6	ES-c	
414 - Borg el Arab	3054	2933	20	104	30.3	6.3	18.3	19.2	24.0	1256	0.080	14.9	AI-d	
415 - Dabaa	3056	2828	18	141	29.7	7.3	18.5	19.3	22.4	1270	0.11	21.6	AI-c	
416 - Dakhla	2529	2900	111	0.5	38.5	4.4	21.5	23.1	34.1	1586	0.003	0.05	EI-t	
417 - Fayum	2919	3050	20	15	36.6	6.2	21.0		30.4	1441	0.01	1.7	ES-d	
418 - Gemmeiza	3043	3107	20	51	34.5	5.2	19.9	20.4	29.3	1366	0.04	6.0	HAS-d	
419 - Giza (Cairo)	3003	3113	19	19	34.3	6.3	20.3	20.5	28.0	1407	0.01	2.4	ES-d	
420 - Helwan	2952	3120	140	26	35.1	8.8	22.0	21.9	26.3	1510	0.02	3.3	HAI-c	
421 - Ismaïlia	3035	3026	20	38	35.0	7.0	21.0	20.7	28.0	1441	0.03	4.7	HAI-c	
422 - Kharga	2527	3032	73	1	39.4	6.0	22.7	24.0	33.4	1558	0.0006	0.1	EI-d	
423 - Kom-Ombo	2429	3256	102	0	41.0	7.7	24.4	25.1	33.3	1675	0.0000	0.0	EI-c	
424 - Mallawî	2742	3045	20	3	35.3	2.5	18.9	20.5	32.8	1297	0.0002	0.3	EI-f	
425 - Mansourah	3117	3218	30	54	33.5	7.0	20.3	20.9	26.5	1393	0.04	7.0	HAS-c	
426 - Marsa Matruh	3120	2730	30	123	29.8	8.0	18.9	19.2	21.8	1297	0.09	19.3	AI-c	
427 - Minyia	2805	3044	40	4	36.6	4.0	20.3	21.1	32.6	1448	0.003	0.4	EI-t	
428 - Port Saïd	3117	3218	6	93	30.7	11.3	21.0	21.0	19.3	1441	0.06	16.4	HAS-cc	
429 - Qena	2609	3246	135	7	41.4	6.8	24.0		34.3	1644	0.004	0.7	EI-d	
430 - Sakha	3107	3057	20	67	34.0	6.0	20.0	19.2	28.0	1373	0.05	8.2	HAS-d	
431 - Salloum	3132	2511	6	104	31.0	9.5	20.5	20.5	21.5	1390	0.07	16.6	AI-cc	
432 - Shandaweel	2626	3138	60	1	37.5	4.6	21.1	22.8	32.9	1448	0.001	0.1	EI-t	
433 - Sidi Barrani	3138	2558	23	143	29.0	8.5	18.8	19.3	20.5	1287	0.11	23.9	AI-c	
434 - Siwa	2912	2531	613	10	39.1	3.8	20.7	20.6	34.3	1438	0.007	1.0	EI-t	
435 - Sohag	2634	3142	62	0	37.5	5.6	21.4	22.6	32.2	1469	0.000	0.0	EI-d	
436 - Tahrir	3039	3042	20	35	34.8	7.8	21.3	20.4	27.0	1462	0.002	4.3	HAI-c	

## VI - MAURITANIE

N°	Station	Lat. N °'	Long. W °'	Alt. m	P mm	M °C	m °C	$\frac{M+m}{2}$	t °C	M-m	ETP mm	$\frac{P}{ETP}$	Q3	Interprétation Classification	Remarques
437	Bir Moghrein	2514	1135	300	45	40.5	10.5	25.5	23.8	30.0	1750	0.03	5.1	HAI-cc	Méditerran
438	F'derik	2241	1242	298	61	42.0	13.2	27.6	26.2	28.8	1894	0.03	7.3	HAS-cc	Transition
439	Nouadhibou (Pt Etienne)	2056	1702	3	33	31.1	13.3	22.2	21.6	17.8	1524	0.02	6.4	HAI-cc	Tropical
440	Atar	2036	1303	224	103	42.0	12.7	27.4	27.8	29.3	1877	0.05	12.0	HAS-cc	Tropical

## VII - ILES CANARIES (Espagne)

440	Las Palmas de Gran Canaria	2809	1525	6	147	26.9	13.7	20.3	20.4	13.2	1400	0.10	37.7	AI-cc	Méditerran
441	Valle Seco (GC)	2804	1533	1000	968	25.0	4.0	14.5	13.6	21.0	933	1.04	158.0	HH - t	
442	Santa Cruz (Ten)	2822	1617	10	290	30.1	14.5	22.3	20.9	15.6	1435	0.20	63.8	AM - cc	
443	Puerto de la Cruz (Teneriffe)	2823	1638	50	348	27.0	10.0	18.5	18.7	17.0	1284	0.27	70.0	AS - cc	
444	La Laguna (Ten.)	2828	1618	636	580	27.2	9.1	18.2	15.3	18.1	1050	0.55	110.0	SH - c	
445	Izana (Ten.)	2819	1630	2367	472	22.1	0.5	11.3	9.4	21.6	631	0.75	75.0	H - ff	
446	Arrecife (Lanz.)	2856	1333	10	144	29.0	12.0	20.0	19.0	17.0	1304	0.11	29.0	AI - cc	
447	Los Estancos (Fuerteventura)	2836	1359	200	125	27.3	10.0	18.6	19.2	17.3	1318	0.09	24.8	AI - cc	

N.B.: \* = Températures approximatives, obtenues par interpolation ou extrapolation, compte tenu des conditions locales.

## Utilisation des garrigues par les ovins et risque parasitaire vis à vis des strongles gastro-intestinaux

D. MOUNPORT\*  
L. GRUNER\*\*  
M. LAGACHERIE\*\*\*

### RÉSUMÉ

Un troupeau d'ovins pâture au printemps et à l'automne 5 parcs de garrigue Montpelliéraine. Sur 2 des parcs, P2 et P5, 12 zones herbeuses sont délimitées. A chaque passage du troupeau en 1982 et au printemps 1983, des mesures sont effectuées dans chacune des zones sur la végétation (distribution des espèces, taux de recouvrement, disponibilité), sur la fréquentation animale (observations directes, accumulation des déjections, consommation d'herbe) ainsi que sur les stades libres de nématodes du tractus digestif (espèces, abondance dans les fèces et sur l'herbe). L'accumulation des fèces reflète bien la fréquentation de la zone par les brebis.

L'hétérogénéité est importante entre les zones du point de vue espèce botanique dominante, disponibilité, fréquentation animale et répartition des larves de Trichostrongylidae. Les zones à risque parasitaire élevé pour les animaux se caractérisent par la dominance en *Brachypodium pinnatum*, en "autres fourragères" et en légumineuses ( $r^2=0,47$ ). Les zones à *Carex* sont au contraire répulsives. Ces zones à risque sont pérennes sur P5 et plus variables sur P2 selon les saisons et la disponibilité en herbe.

### SUMMARY

#### SHEEP GRAZING BEHAVIOUR ON MEDITERRANEAN GARRIGUE AND PARASITIC RISK WITH GASTROINTESTINAL TRICHOSTRONGYLES.

A flock grazed 5 paddocks in garrigue in South of France during Spring and Autumn (5 ewes / ha). On 2 paddocks (P2 and P5), 12 areas with grass were delimited. Observations were done on them at each cycle of the flock during Spring 1982, 1983 and Autumn 1982, on the vegetation (species, availability of grass, rate of covering), on animal frequentation (direct observations, amount of accumulated faeces, herbage intake) and on strongyle larval distribution. The accumulated faeces on each area was correlated with animal frequentation.

The between areas heterogeneity was important for the vegetation, the ewe behaviour and the larval distribution. Areas at higher infective risk for the animals were characterised by the dominance of *Brachypodium pinnatum*, of other pasture species, and of leguminous ( $r^2=0.47$ ). Areas with *Carex* were repulsive. The areas at risk were permanent on P5 and varied on P2 with seasons and grass availability.

**MOTS CLÉS :** Ovins - Garrigue - Comportement - Nématodes parasites.

### INTRODUCTION

L'importance du parasitisme dans un système d'élevage implanté dans un milieu à faible productivité comme les garrigues et parcours méditerranéens dépend de la faune parasitaire de la région et des caractéristiques de ce système. Lorsque les animaux pâturent en liberté de grands enclos, il se crée une hétérogénéité de leur utilisation qui est la résultante de facteurs de nature diverse. Certains sont des paramètres fixés par l'éleveur, telles la charge animale à l'hectare, la

\*Département de Biologie animale, Faculté des Sciences, Université de Dakar, Dakar, Sénégal.

\*\*INRA, Station de Pathologie Aviaire et de Parasitologie, Nouzilly, F 37380 Monnaie.

\*\*\*Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF), Parc Euromédecine, 378 rue de la Galéra, F 34090 Montpellier Cedex.

durée de séjour du troupeau sur l'enclos, l'objectif étant de gérer au mieux les ressources fourragères disponibles. D'autres sont liés au comportement du troupeau dans sa recherche de nourriture ; d'autres enfin sont liés aux enclos, à leur topographie, à la nature et à la répartition des ressources fourragères, à la présence de point d'eau ou d'abri. Le troupeau structure l'espace qui lui est offert en zones d'activités de pâturage, de repos diurne ou nocturne (SOUTHCOOT *et al.* 1962, HILDER 1964, 1966, FAVRE 1979, LECLERC et LECRIVAIN 1979, GRUNER *et al.* 1983, MOUNPORT 1984).

Dans un tel milieu, la répartition des parasites est hétérogène : elle dépend de la répartition des oeufs et larves déposés sur le sol par les animaux avec leurs déjections ainsi que de celle des hôtes intermédiaires pour les espèces dont le développement est hétéroxène. L'estimation de la charge parasitaire globale de l'enclos ne rend pas compte du risque d'infestation réel qu'encourent les animaux lors de leur séjour. L'étude de zones à risque parasitaire a fait l'objet de travaux sur la Causse du Larzac par GRUNER *et al.* (1983) pour les strongles gastrointestinaux et par CABARET *et al.* (1983) pour les Protostrongles. BEKKALI (1972) avait déjà pressenti cette hétérogénéité au Maroc. Le parasitisme des ovins pâturant les parcours méditerranéens est dominé par les Nématodes soit du tractus digestif (ou strongles gastro-intestinaux) soit de l'appareil respiratoire (principalement Protostrongles). Nous avons étudié les possibilités d'évolution des strongles sur les garrigues et caractérisé les périodes favorables à leur développement (MOUNPORT *et al.*, 1990). Le nombre de larves infestantes sur le pâturage est lié à la quantité d'éléments contaminants (oeufs) déposés avec les déjections lors du passage précédent des animaux sur le parc.

Ce travail a pour objet de caractériser les zones à risque d'infestation des ovins pâturant un ensemble d'enclos de garrigue vis-à-vis des strongles gastro-intestinaux, en tenant compte de leur utilisation de l'espace.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### I - SITUATION DE L'EXPÉRIENCE.

Au lieu dit "Lou Grasse" sur la commune de St Gély du Fesc à 14 km au nord de Montpellier (34), la garrigue à romarin et pins d'Alep est implantée sur des formations calcaires peu perméables en bancs rocheux alternant avec des substrats marneux peu à très perméables. Le climat est de type méditerranéen humide avec une pluviométrie moyenne de 1040 mm par an. Seulement 60% de cette quantité est tombée au cours des années d'observation (1982-1983), réduisant la pousse de l'herbe.

Un troupeau de 75 brebis, la moitié "Mérinos d'Arles" et l'autre moitié "croisées Mérinos-Romanov", pâture 5 parcs de 3 ha au printemps et en automne. L'été et l'hiver, il est parqué sur une autre parcelle munie d'un abri et alimenté à la paille traitée à l'ammoniaque. La mise bas a lieu en mars.

Sur les 5 parcs utilisés en rotation, deux (P2 et P5) ont été choisis pour notre étude d'après leur espacement dans le cycle et d'après la richesse en pelouses, plus faciles à échantillonner que les bancs de cailloux caractérisant certains parcs. Dans chacun des deux parcs, 12 zones ont été délimitées dans les pelouses (zones A à L sur P5 et M à X sur P2) ; leur superficie varie de 630 à 2000 m<sup>2</sup> représentant 43 et 34 % de la surface totale respectivement de P2 et P5. Les caractéristiques générales de P2 et P5 sont présentées au tableau 1. Le recouvrement en cailloux ou ligneux varie considérablement d'une zone à l'autre. La caractérisation botanique des différentes zones a été faite selon la méthode des points quadrats de DAGET et POISSONNET (1971).

**Tableau 1** : Caractéristiques générales de l'ensemble des zones des deux parcs étudiés en garrigue (en % de la surface).

	Parc 2	Parc 5
Relief	uniforme, plat	très accidenté
Sol nu et cailloux	4,6	8
Ligneux	27,2	20
Bois mort	3,2	1,8
Pelouses	65	69

## II - MESURES SUR LA VÉGÉTATION

### 1 - Mesure des quantités consommées.

A chaque passage du troupeau sur l'un des deux parcs, la quantité d'herbe consommée est estimée par comparaison de la biomasse disponible sur 1 m<sup>2</sup> à l'entrée (DE) à la biomasse restante à la sortie (DS) (ou refus). Il est tenu compte de la croissance (C) par la coupe de l'herbe sur 1 m<sup>2</sup> mise en défens au moyen d'une cage pendant la durée du séjour (en moyenne 1 semaine). La formule de LINEHAN (1952) est alors utilisée :

$$\text{Quantité consommée QC} = (DE - DS)(\log C - \log DS) / (\log DE - \log DS)$$

Cette formule n'est utilisable que lorsque le recouvrement d'herbe sur les 3 carrés de 1 m<sup>2</sup> est identique ; nous avons effectué les conversions nécessaires lorsque ce n'était pas le cas.

### 2 - Mesure de la fréquentation animale par l'observation de carrés d'herbe.

Au printemps 1983, il a été procédé à l'étude de la fréquentation animale par suivi botanique de carrés permanents dans 5 zones représentatives. Dans chacune, 4 carrés de 1/4 m<sup>2</sup> sont repérés, et lors du passage des animaux sur le parc un indice (I) de phytomasse consommée est calculé

$$I = R \cdot \sum_{i=1}^n (d_i \cdot \Delta h_i \cdot c_{si}) \quad \text{où}$$

R est le recouvrement en herbe du carré,  $d_i$  la note de densité de l'espèce  $i$  (de 0 à 3),  $\Delta h_i$  la variation de hauteur moyenne de l'espèce  $i$  supposée due à la consommation par les animaux, et  $c_{si}$  la contribution spécifique de l'espèce  $i$ .

### 3 - Mesure de la fréquentation animale par les mesures de valeur pastorale et des contributions spécifiques.

Dans les mêmes zones que précédemment, la méthode des points quadrats de DAGET et POISSONNET (1971) a été appliquée tous les 10 cm le long de 2 lignes de 5 m par zone, ceci à l'entrée et à la sortie du troupeau sur le parc. Il est ainsi calculé la variation de la valeur pastorale due au passage des animaux, connaissant les indices spécifiques des essences en présence. De même, la variation de la somme des contributions spécifiques est établie.

### III - AUTRES MESURES DE LA FRÉQUENTATION ANIMALE

#### 1 - Cumul des déjections sur les zones.

Dans chaque zone, 10 lignes permanentes sont repérées par des piquets (soit 100 lignes par parc). Un cadre métallique de 0,5m de côté est successivement retourné le long des lignes et la quantité de matières fécales à l'intérieur est estimée par un indice variant de 0 à 5. La note 0 signifie absence de fèces, 3 correspond à une défécation et 5 lorsque le sol à l'intérieur du cadre est tapissé. Cette méthode (GRUNER *et al*, 1983) a été améliorée en pesant régulièrement des échantillons de crottes correspondant à chacune des notes afin d'établir une correspondance note-poids sec. Ces lectures (25 m<sup>2</sup> par zone, soit 300 m<sup>2</sup> par parc) sont réalisées à l'entrée et à la sortie des animaux sur le parc et ceci sur les 2 parcs à la fois. Il est ainsi calculé au terme du séjour un taux de disparition sur le parc sans animaux et une quantité de fèces accumulée (QA) sur chacune des zones du parc pâturé

$$QA = S - E + E \theta = S - E (1 - \theta)$$

où S et E sont les quantités de fèces présentes à la sortie et à l'entrée des animaux sur le parc,  $\theta$  le taux de disparition.

#### 2 - Observations directes des animaux.

Nous nous sommes inspiré des méthodes utilisées par LECLERC et LECRIVAIN (1979) dans le but de déterminer les diverses utilisations des zones par les brebis. Le principe consiste à noter toutes les 10 mn l'activité du troupeau, à savoir le nombre de brebis sur chacune des zones ainsi que leur activité (déplacement, pâturage, repos, pâturage-déplacement). L'ensemble de ces observations permet d'exprimer en brebis-minutes chacune des activités, ceci pour chacune des zones.

### IV - MESURES PARASITOLOGIQUES

#### 1 - Estimation de la contamination de chacune des zones.

La contamination est le nombre d'oeufs de strongles par unité de surface déposés avec les déjections lors du passage des animaux sur le parc. Elle est le produit de la quantité de fèces accumulées (QA) par la densité en oeufs (OPG, oeufs par gramme de fèces) mesurée sur des prélèvements rectaux de fèces de 10 brebis.

#### 2 - Mesure de l'infestivité des zones.

C'est le nombre de larves de strongles au stade 3 (L3) ou stade infestant par unité de surface dans les fèces et sur l'herbe. A l'occasion de chaque passage des animaux sur le parc, parfois à l'entrée et à la sortie, il est procédé à l'échantillonnage des fèces sur le sol (GRUNER, 1986) et de l'herbe. Dans chaque zone, 2 à 3 crottes sont prélevées en 100 points et les L3 extraites par Baermann.

De même 400 pincées d'herbe sont prélevées et les L3 extraites par trempage 24 heures dans l'eau et filtration sur tamis de 20 microns. Après diagnose et dénombrement, l'infestivité de chaque zone est

exprimée en L3 / 25 m<sup>2</sup>. La proportion de L3 sur l'herbe permet de se rendre compte si les conditions climatiques sont favorables à leur migration sur un support végétal consommé par l'animal.

### 3 - Estimation du risque infestant.

A chaque passage du troupeau sur le parc, le risque infestant est estimé selon 2 méthodes. Un risque RI1 lié à la consommation d'herbe porteuse de L3

$$RI1 = NL3 * QC$$

produit du nombre de L3 sur l'herbe par 25 m<sup>2</sup>, par la quantité QC d'herbe consommée.

Un risque

$$RI2 = NL3 * QA$$

produit du nombre de L3 / 25 m<sup>2</sup> par la quantité de fèces accumulées. GRUNER *et al.* (1983) avaient trouvé une corrélation significative entre l'accumulation de fèces et l'activité de pâturage.

Au printemps 1983, un 3ème risque infestant a été calculé à partir du temps de pâturage des brebis sur chaque zone estimé par leur observation directe.

$$RI3 = NL3 * PAT$$

produit du nombre de larves par la fréquentation pâturage en brebis-minute / m<sup>2</sup>.

## V - TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Pour caractériser l'hétérogénéité du milieu, nous avons utilisé l'indice k d'agrégation et le pourcentage D de dispersion des données autour de la moyenne tels que ROJAS (1963) les a définis:

$$k = \bar{x}^2 / s^2 - \bar{x}$$

$$D = s / \bar{x} * \sqrt{n}$$

où  $\bar{x}$  et  $s$  sont la moyenne et l'écart-type,  $n$  l'effectif.

Vu la multiplicité des observations, nous avons effectué des analyses de données type analyses en composantes principales et régressions progressives ascendantes, après normalisation des données lorsque c'était nécessaire, en utilisant le logiciel Amance (BACHACOU *et al.*, 1981) sur ordinateur Cii Honeywell Bull Mini6.

## RÉSULTATS

### I - HÉTÉROGÉNÉITÉ DE LA GARRIGUE

#### 1 - Composition botanique des pelouses (tableaux 2 et 3).

La végétation des diverses zones est caractérisée par une nette prédominance des Graminées qui, suivant les zones peuvent aller jusqu'à 80 % des essences du tapis herbacé. Les graminées les

plus représentées sont *Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum* et *Brachypodium ramosum*. Parmi les autres le genre *Festuca* domine. Outre les Graminées, on note la présence des *Carex* (*Carex glauca*, *C. humilis* et *C. halleriana*), de légumineuses (surtout *Dorycnium suffruticosum*). Sous le terme "autres fourragères" les principales plantes suivantes sont regroupées: *Galium* sp., *Crepis* sp., *Aphyllantes monspeliensis*, *Sanguisorba minor* et *Phillyrea angustifolia*.

La distribution des diverses Graminées est agrégative au vu de la valeur du coefficient k. Certaines zones sont à dominance *Bromus erectus* (66 % des essences de la zone O), d'autres à dominance *Brachypodium ramosum* (54 % en P). L'abondance de ces deux espèces s'oppose (corrélation négative significative,  $r = -0,851$ ,  $P < 0,01$ ). De même l'abondance des *Carex* s'oppose à celle des Graminées ( $r = -0,617$  sur P5 et  $r = -0,634$  sur P2,  $P < 0,05$ ). Néanmoins la distribution des Graminées suit une loi normale, ce qui peut être rapproché de celle de la valeur pastorale calculée en mai 1983, révélant une relative homogénéité de la richesse des pelouses ( $k > 20$  sur P2 comme sur P5).

## 2 - Variabilité du recouvrement en herbe (tableaux 2 et 3).

**Tableau 2** : Caractéristiques botaniques des pelouses constituant les 12 zones étudiées sur le parc 5 en garrigue (Val. Past. = valeur pastorale).

Zone	sol nu cailloux	ligneux	<i>Bromus erectus</i>	<i>Brachy. ramosum</i>	<i>Brachy. pinnatum</i>	Autres Gram.	Total Gram.	Légumi- neuses	<i>Carex</i>	Aphyl- lantes	Autres fourr.	non fourr.	Val.Past. mai 1983
A	0.0	14.6	43.7	0.0	5.5	22.6	71.8	3.8	13.1	3.3	0.8	7.2	32.5
B	0.0	9.0	46.1	0.0	3.3	5.8	58.2	11.3	9.9	5.5	7.0	11.1	33.6
C	24.1	6.8	7.1	45.7	0.0	5.7	58.5	16.3	4.9	0.0	6.0	14.3	24.9
D	4.7	15.7	17.8	41.0	0.7	0.5	60.0	16.1	4.8	3.9	11.9	4.2	32.3
E	23.0	8.8	17.1	31.3	3.1	8.8	60.4	16.2	4.8	3.9	11.9	4.2	32.3
F	8.6	6.4	31.1	0.4	23.9	2.1	57.5	12.0	3.2	3.6	15.2	8.5	29.5
G	10.1	6.0	22.1	1.3	1.6	8.9	33.9	15.6	26.8	7.8	11.0	4.9	30.8
H	7.4	19.5	26.2	2.5	7.8	2.8	39.3	10.3	27.4	7.0	6.8	9.2	27.3
I	1.3	8.6	14.0	12.5	17.0	1.6	45.0	1.6	26.6	3.5	16.4	6.9	28.5
J	0.4	17.5	8.0	15.6	2.1	7.3	33.0	4.3	12.3	10.6	5.3	34.5	20.2
K	1.6	16.4	18.2	6.2	14.0	1.0	39.4	4.0	26.7	9.7	11.8	8.5	28.4
L	14.4	23.3	6.0	31.2	1.0	2.4	40.6	3.6	22.3	7.0	4.9	21.6	18.3
MOY			21.5	15.6	6.7	5.8	49.8	8.4	16.1	5.4	8.9	11.8	28.0
k			3.0	0.9	0.9	1.1	22.3	2.7	3.5	16.5	6.6	22.5	149.0

**Tableau 3** : Caractéristiques botaniques des pelouses constituant les 12 zones étudiées sur le parc 2 en garrigue (Val. Past. = valeur pastorale).

Zone	sol nu cailloux	ligneux	<i>Bromus erectus</i>	<i>Brachy. ramosum</i>	<i>Brachy. pinnatum</i>	Autres Gram.	Total Gram.	Légumi- neuses	<i>Carex</i>	Aphyl- lantes	Autres fourr.	non fourr.	Val.Past. mai 1983
M	3.2	8.6	8.4	39.5	2.7	5.3	55.9	7.4	29.0	4.5	0.1	3.3	35.8
N	0.9	10.7	48.2	0.0	4.0	4.8	57.0	12.0	11.7	6.3	13.8	0.2	33.2
O	3.8	14.3	66.2	1.5	6.9	0.6	75.2	4.8	2.4	7.0	8.9	1.7	38.1
P	5.4	15.8	7.8	54.1	8.9	4.0	74.9	9.8	3.5	5.0	4.9	1.9	29.9
Q	4.8	11.7	47.2	7.8	25.3	0.0	80.2	2.4	6.5	0.5	9.9	0.5	26.4
R	1.6	9.8	27.0	0.0	25.2	4.2	56.4	7.9	19.6	5.3	10.1	0.7	31.2
S	0.0	9.8	22.3	4.8	13.9	12.3	53.3	5.4	21.2	3.3	14.0	2.8	28.5
T	4.0	12.9	17.8	22.1	6.7	12.9	59.5	6.7	16.3	5.7	7.4	4.4	29.0
U	2.7	6.2	38.5	8.5	3.2	12.7	62.9	1.9	20.0	4.7	2.1	8.3	32.9
V	19.0	14.2	2.4	4.4	21.4	5.8	34.0	0.0	35.6	2.7	1.7	26.0	17.7
W	3.4	13.7	10.7	2.3	10.0	28.7	51.7	3.4	25.4	9.0	2.8	7.7	25.3
X	6.7	18.3	20.1	5.6	13.0	0.4	39.1	33.1	7.4	8.5	7.9	4.0	23.6
MOY			26.4	12.6	11.8	7.6	58.3	7.9	16.5	5.2	7.0	5.1	29.3
k			1.9	0.5	2.1	1.0	25.6	0.9	2.9	55.0	3.3	2.7	395.0

Le pourcentage de recouvrement en herbe est plus hétérogène à l'intérieur de chaque zone qu'entre les zones. Dans le parc P2, le pourcentage de variation autour de la moyenne (D de ROJAS) de ce recouvrement va de 2,10 à 7,96 % suivant les zones; il n'est plus que de 2,37 entre les zones. De même sur P5, D (intra zones) varie de 2,85 à 6,40 % alors que D (inter zones) est de 3,39 %.

### 3 - Disponibilité en herbe sur les parcs (figures 1 et 2).

De façon générale, la croissance de l'herbe a été supérieure au printemps 1983 qu'au printemps 1982, où le déficit hydrique fut particulièrement prononcé. Les pluies de l'automne 1982 ont été trop tardives pour contribuer à la pousse de l'herbe restée peu abondante. Sur les deux parcs, l'analyse de variance confirme un effet période significatif. Cependant l'effet zone est non significatif sur P2; il l'est sur P5 ( $P < 0,01$ ) où les zones D,E,F et I ont une biomasse disponible plus élevée.

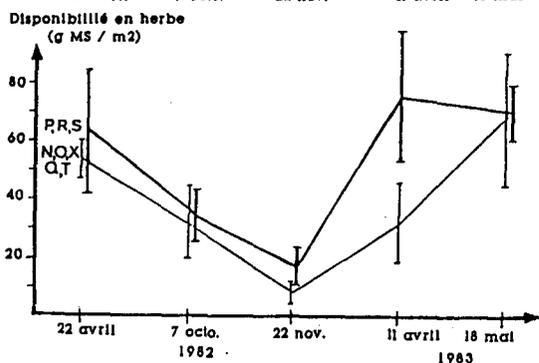
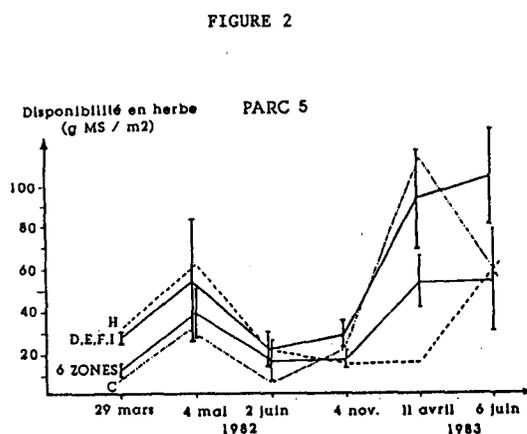
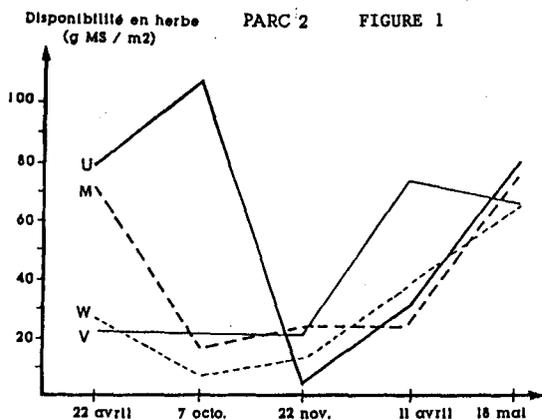


Figure 1 : disponibilité en herbe sur les zones du parc 2 à l'entrée du troupeau sur le parc en 1982 et printemps 1983.

Figure 2 : disponibilité en herbe sur les zones du parc 5 à l'entrée du troupeau sur le parc en 1982 et au printemps 1983.

## II - LA FRÉQUENTATION ANIMALE

### 1 - Quantités d'herbe consommées (QC).

A tous les passages, QC a été estimé par collecte de la phytomasse sur des surfaces de 1 m<sup>2</sup>. Au printemps 1983, d'autres méthodes de mesure de QC et de biomasse disponible ont été utilisées. La comparaison de ces diverses mesures (tableau 4) montre une relation significative entre la consommation (mesurée par les différentes méthodes sauf la fréquentation pâturage) et la disponibilité en herbe lorsque celle-ci est estimée par la somme des "contributions - contacts". Cette technique des contributions contacts semble donc la plus appropriée mais elle ne permet pas de quantifier la

disponibilité. La fréquentation pâturage est liée au temps passé par les brebis sur chaque zone, fonction de la densité des essences, au recouvrement et à la hauteur de l'herbe.

Tableau 4 : Corrélations entre la quantité d'herbe consommée et la disponibilité en herbe estimées selon diverses méthodes sur les zones des parcs 2 et 5 en garrigue.

Disponibilité estimée par:	Quantité d'herbe consommée estimée par				
	Collecte de Phytomasse sur 1m2	Indice de Consommation	Variation de la Valeur Pastorale	Variation de la somme des Cont.Spéc.	Fréquentation Pâturage
Collecte de Phytomasse sur 1m2	0.77 ** (ddl 46)	0.18 (ddl 18)	0.29 (ddl 18)	0.07 (ddl 18)	0.011 (ddl 46)
Echantillonnage Phytomasse/2m2	0.512 ** (ddl 22)	0.38 (ddl 8)	0.11 (ddl 8)	0.23 (ddl 8)	0.54 ** (ddl 22)
Somme des Contr.Spécif.	0.63 ** (ddl 18)	0.70 ** (ddl 18)	0.48 * (ddl 18)	0.96 ** (ddl 18)	-0.19 (ddl 18)

ddl = nombre de degrés de liberté  
significatif pour  $P < 0.05$  (\*),  $P < 0.01$  (\*\*)

## 2 - Fréquentation animale mesurée par l'accumulation de fèces.

Les suivis d'animaux ont été réalisés lors de 2 passages sur chacun des parcs au printemps 1983. Les animaux ont été observés 16 et 37,5 heures lors des deux passages sur P5, soit 18 et 20 % de la période diurne totale du séjour sur le parc. Sur P2, ces chiffres respectifs sont de 45 et 54 heures, soit 49,5 et 30 % du temps diurne. Sur P2, les corrélations entre l'accumulation des matières fécales sur la zone et sa fréquentation par les brebis en terme de fréquentation totale ( $r = 0,602$ ), pâturage ( $r = 0,437$ ) ou repos ( $r = 0,718$ ) sont significatives ( $P < 0,01$ ). Il n'en est pas de même sur P5, ce qui peut s'expliquer par les perturbations dues aux pluies lors du premier passage et par un pâturage nocturne important lors du second (6 au 15 juin). Cette liaison accumulation des fèces et pâturage est importante car elle permet une estimation indirecte de l'utilisation de l'espace par les animaux.

## 3 - Fréquentation animale et composition botanique.

La sélection des essences végétales explique en grande partie les différences de fréquentation des zones. Ainsi sur P2, les plus fortes accumulations de fèces sont observées sur les zones à *Bromus erectus*. Sur P5, ce sont les zones à *Brachypodium pinnatum* associé à *Bromus erectus* qui requièrent les plus fortes charges. Au cours de chacun des deux passages, par exemple sur P2 (figure 3), la fréquentation est très hétérogène les premiers jours ; elle s'homogénéise ensuite. Les zones à Bromo érigé sont les plus pâturées au début du séjour ; la diminution de la disponibilité oblige la fréquentation des autres zones, celles à Carex dominant étant les moins recherchées.

## 4 - Autres facteurs.

La topographie joue un rôle non négligeable dans la recherche d'aires de repos tant diurne que nocturne, ceci en fonction des conditions climatiques. Les brebis recherchent les zones abritées des vents froids en hiver (mistral) et après la tonte (fin du printemps). Par contre pendant les périodes chaudes, ce sont au contraire les zones en hauteur bien ventilées qui sont recherchées, surtout la nuit. Plus l'été approche, plus le pâturage nocturne devient important. En avril, 70 et 20

% de la période diurne sont consacrés respectivement aux activités de pâturage et de repos. Fin mai ces valeurs sont de 50 et 40 %. Cette tendance est confirmée également sur P5 en juin.

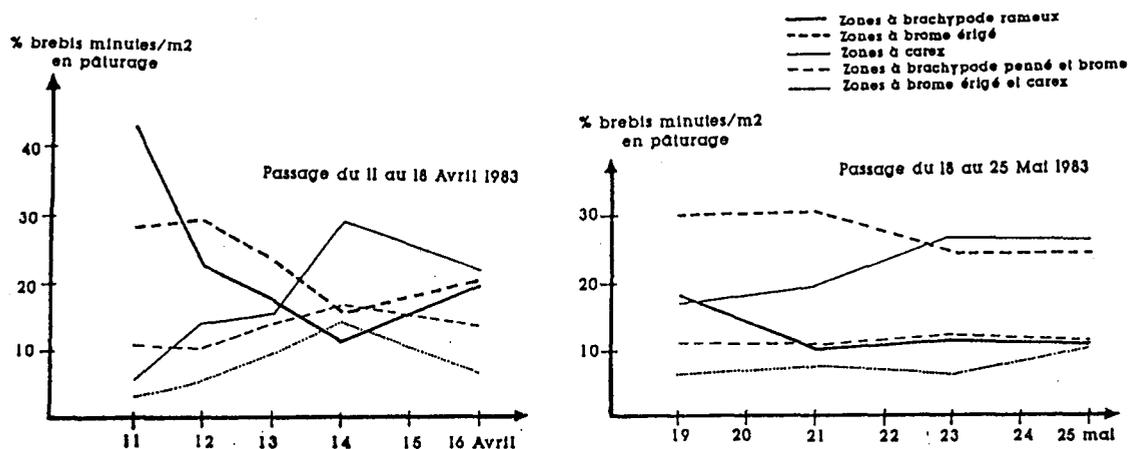


Figure 3 : pâturage des zones du parc 2 lors des passages d'avril et mai 1983 du troupeau, mesuré par observation directe des brebis et exprimé en fréquence relative.

### III - LE RISQUE PARASITAIRE

Le parasitisme est dominé par *Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus vitrinus*, *Nematodirus fillicolis* et *N. spathiger* (MOUNPORT *et al*, 1990). Ces auteurs ont défini les périodes à risque d'infestation des animaux. La population moyenne de larves infestantes sur l'herbe est passée de 240 L3 / 25 m2 en moyenne sur les zones de P5 au début du printemps 1982 (soit 440 L3 / kg de matière sèche) à environ 25 L3 / 25 m2 sur les deux parcs en avril puis à 90 en fin de saison. Les L3 sont beaucoup plus nombreuses en fin d'automne (de l'ordre de 900 L3 / 25 m2) et au début du printemps 1983 (1484 sur P5 en avril). L'été, les fortes chaleurs stérilisent les pâturages ; ce ne sont qu'avec les pluies d'automne que les L3 comprises dans les fèces sont libérées et peuvent migrer sur l'herbe.

Le niveau d'infestivité des pelouses (nombre de L3 sur l'herbe) varie dans des proportions considérables entre les zones. Le risque d'infestation, qui est en fait une approche du nombre de larves effectivement ingérées par les brebis en pâturant, a été mesuré selon plusieurs techniques qui se sont avérées corrélées de façon significative. Nous avons retenu l'estimation à partir des accumulations de fèces (RI-A) dans la mesure où cette technique a été utilisée à tous les passages du troupeau sur les parcs. L'analyse du risque infestant est réalisée par saison, parcs confondus.

#### 1 - Zones à risque au printemps 1982.

Le risque, très faible au début, augmente d'autant plus que la faible disponibilité en herbe oblige les animaux à brouter très à ras du sol, là où les L3 sont concentrées à la base des plantes. La matrice de corrélations entre le risque infestant et les différentes variables explicatives (tableau 5) montre que *Brachypodium pinnatum* est l'espèce végétale la plus liée à la disponibilité en herbe, et que cette variable est corrélée à l'herbe consommée. Il en résulte que les zones les plus fréquentées sont celles qui sont riches en *Brachypode penné*. Par ordre décroissant, les zones à risque infestant élevé sont celles à *Brachypodium pinnatum*, puis celles à *Bromus erectus*, enfin celles à "autres fourragères". Sur la projection sur les deux premiers axes issue de l'analyse en composantes principales (figure 4), on distingue nettement dans le sens du vecteur "risque infestant" les zones R.

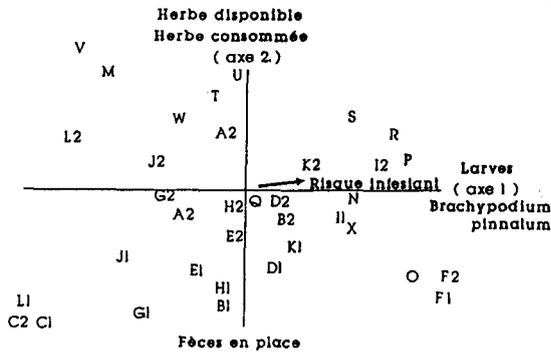
et F à Brachypode penné dominant, les zones O et N à *Bromus erectus* et les zones K et I à "autres fourragères".

Par régression progressive, la dominance en *Brachypodium pinnatum* explique à elle seule 33 % de la variabilité du risque infestant, 41 % si on y ajoute celle en autres fourragères, et 47 % si on ajoute celle en légumineuses. Signalons que dans ce cas, les légumineuses sont généralement associées au brachypode penné et au brome.

**Tableau 5** : Principales corrélations entre le risque infestant au printemps 1982 et divers paramètres liés aux zones d'étude.

	Risque Infestant	Accumul. Fèces	Total Larves	Fèces en place	Herbe Disponible	Herbe Consommée
Fèces en place	0.368*	-0.163	0.652**	1		
Herbe Dispon.	0.314	0.366*	0.227	-0.033	1	
Herbe Consom.	0.366*	0.456**	0.200	-0.093	0.787**	1
<i>Bromus erectus</i>	0.324*	0.093	0.378*	0.330*	0.312	0.259
<i>B. pinnatum</i>	0.571**	0.389**	0.537**	0.162	0.512**	0.433**
autres fourr.	0.435**	0.188	0.513**	0.604**	0.097	0.186

P < 0.05 (\*) et P < 0.01 (\*\*)



**Figure 4** : étude du risque infestant dans les zones A à X des parcs 2 et 5 au cours du printemps 1982. Projection sur les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales. (les indices 1 et 2 correspondent aux passages du troupeau sur le parc).

**2 - Zones à risque en automne 1982.**

Les animaux sont passés deux fois sur P2 et une fois sur P5. Après l'été qui a stérilisé les pâturages, les populations de L3 et le risque infestant sont restés peu importants lors du premier passage sur chacun des parcs; le troupeau a en fait réensemencé les pelouses en oeufs de strongles. Lors du second passage sur P2, le risque est très dilué dans l'espace (figure 5). IL concerne les zones O et N à brome érigé, X, R et U à brachypode penné et autres fourragères, enfin M et P à

brachypode rameux. En fait, les zones à risque élevé sont soit des zones à disponibilité en herbe faible (U, N, O) mais à concentration en larves très élevée, soit des zones ayant plus d'herbe peu infestée en larves; dans ces dernières les animaux y pâturent plus longtemps.

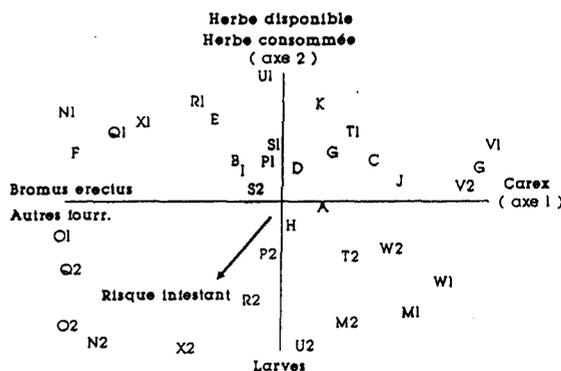


Figure 5 : étude du risque infestant dans les zones A à X des parcs 2 et 5 au cours de l'automne 1982. Projection sur les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales. (les indices 1 et 2 correspondent aux passages du troupeau sur le parc).

### 3 - Zones à risque au printemps 1983.

Quatre passages, deux par parc, ont été regroupés pour l'analyse. De la matrice de corrélation (tableau 6), il ressort que la quantité de fèces restituée sur une zone est corrélée à sa fréquentation totale et à sa fréquentation en termes de repos. Ainsi les zones de repos seront les plus infestées. Par ailleurs, les zones à brome sont les plus fréquentées tant du point de vue pâturage que repos et, à l'opposé, on trouve les zones à Carex. Le risque infestant est corrélé à la pression de pâturage, aux zones de repos et concerne les pelouses à brome érigé. En cette saison, la disponibilité en herbe est importante, aussi les animaux font un choix. Sur la projection sur les axes 1 et 3 (figure 6), seules les zones F, N, O et Q se détachent nettement. Les autres forment un nuage centré sur l'origine, ce qui témoigne de leur faible poids dans l'analyse du risque infestant. Par régression progressive, les résultats sont identiques, à savoir l'importance répulsive des Carex ( $r_2 = 0,27$ ) puis de la fréquentation repos ( $r_2 = 0,33$ ).

Tableau 6 : Principales corrélations entre le risque infestant au printemps 1983 et divers paramètres liés aux zones d'étude.

	Risque Infestant	Accumulation Fèces	Larves	Fèces en place	Fréquent. pâturage	Fréq. totale	Fréq. repos
Fèces en place	0.400**	0.800**	0.337**	1			
Fréq. pâturage	0.280*	0.252	0.283*	0.480**	1		
Fréq. totale	0.117	0.347**	0.125	0.432**	0.692**	1	
Fréq. repos	0.331**	0.525**	0.286*	0.552**	0.612**	0.632**	1
Bromus erectus	0.325*	0.521**	0.258	0.518**	0.369**	-0.280*	0.481**
Carex	-0.521**	-0.410**	-0.520**	-0.507**	-0.445**	-0.230	-0.178

P < 0.05 (\*) et P < 0.01 (\*\*)

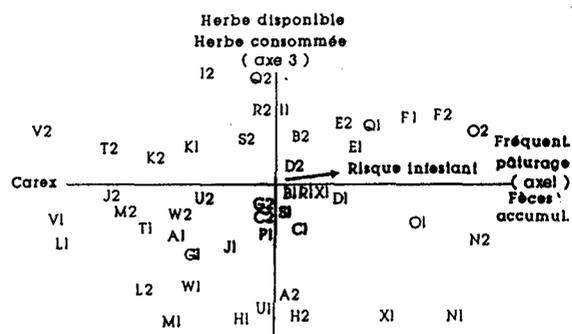


Figure 6 : étude du risque infestant dans les zones A à X des parcs 2 et 5 au cours du printemps 1983. Projection sur les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales. (les indices 1 et 2 correspondent aux passages du troupeau sur le parc)

#### DISCUSSION

Cette étude sur l'utilisation d'un milieu hétérogène par un troupeau ovin élevé en liberté dans de grands enclos rejoint celles de nombreux auteurs tels HILDER (1964, 1966), DONALD et LESLIE (1969), OLECHOWICZ (1974), ARNOLD et DUDDZINSKI (1978), LECLERC et LECRIVAIN (1979) et GRUNER *et al* (1983). En effet, que l'étude se fasse par le biais d'observations directes (LANGE et WILLOCKS, 1978), par photos aériennes (ARNOLD et DUDDZINSKI, 1978) ou par des mesures indirectes de consommation d'herbe ou de répartition de déjections (GRUNER *et al* 1983), les résultats montrent une grande hétérogénéité dans l'utilisation des enclos.

Les mesures indirectes (surtout celles de la répartition des déjections) sont particulièrement pratiques à appliquer et bien adaptées à notre type d'étude. Nous avons confirmé la corrélation trouvée par GRUNER *et al* (1983) entre fréquentation animale et restitution des matières fécales sur le Causse du Larzac. Dans des études épidémiologiques, l'existence d'une telle liaison est d'autant plus intéressante que les oeufs de strongles gastro-intestinaux ou les larves de Protostrongles sont émis par l'animal en même temps que les fèces. L'étude de leur répartition sous-entend donc celle de la dispersion spatiale des futurs éléments infestants. Ainsi, des zones fortement contaminées deviennent dans un avenir plus ou moins proche des zones à risque élevé pour les animaux.

Nous avons relevé l'importance de la sélection des espèces végétales par les ovins. Les espèces les plus appétentes sont *Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum* et *B. ramosum* quand celui-ci est vert. TZIRESY (1980) l'avait déjà observé en garrigue ainsi que LECLERC et LECRIVAIN (1979) et GRUNER *et al* (1983) sur le Causse du Larzac. L'hétérogénéité de l'utilisation des divers secteurs des parcs ne tient pas qu'à la qualité de l'herbe; les ovins sélectionnent les essences tant que cela est possible puis pâturent ce qui reste de disponible. Cette situation était quasi permanente durant toute notre étude, vu la sécheresse particulière et le manque d'herbe. D'après nos mesures, l'ensemble des pelouses étudiées a produit en 1982 1017 kg de MS / ha sur P2 et 1010 sur P5, permettant respectivement 31 et 30 journées de pâturage du troupeau. C'est dire que la garrigue a nourri 5 brebis par ha près de 6 mois par an, confirmant les données de THIAULT *et al* (1979).

La notion de risque comprend un aspect temporel et un aspect spatial. Le premier a été développé par MOUNPORT *et al* (1990). Dans le système d'élevage étudié, la rotation du pâturage fait que le troupeau revient sur un parc un mois après l'avoir quitté, délai suffisant dans les conditions de température de l'endroit pour que les oeufs déposés lors du premier passage aient évolué en larves

au moment du second. Ces auteurs ont d'ailleurs trouvé des corrélations significatives entre les niveaux de populations larvaires des zones et les nombres d'oeufs déposés au passage précédent. Les études de développement des diverses espèces de Trichostrongyles dans des régions soumises à un climat de type méditerranéen en Australie (CALLINAN, 1978 et 1979), dans le sud de la France (MAULEON et GRUNER, 1984) ou en Espagne (URIARTE *et al*, 1984) mettent en évidence l'importance de la pluviométrie dans les possibilités d'évolution et de migration des éléments parasitaires.

Une étude par analyse de variance de la distribution des oeufs de strongles entre les zones montre un effet zone nul sur P2 et hautement significatif sur P5. C'est dire que les brebis concentrent toujours leurs déjections sur les mêmes zones de P5 (D, E, F et I) alors que sur P2, même si certaines sont privilégiées à un passage donné, les situations changent à chaque séjour, d'où un effet zone non significatif. Il s'ensuit que les zones à risque plus élevé sont pratiquement stables sur P5 et plus mobiles sur P2.

Ces études d'utilisation d'un milieu hétérogène par les ovins permettent de comprendre l'extrême hétérogénéité de la répartition des populations de parasites sur les pelouses qui composent la base de la nourriture des animaux. Tous les efforts d'amélioration pastorale iront dans le sens d'une plus forte charge animale et par conséquent d'une augmentation du risque parasitaire. A partir des résultats obtenus, il serait possible de limiter l'infestation des animaux soit en empêchant l'accès des zones à risque élevé, soit en y effectuant une lutte contre les larves infestantes. La première voie semble difficile à mettre en oeuvre dans la mesure où l'intérêt de ce type d'élevage en liberté est de limiter les interventions; de plus des pelouses productives et riches seraient de ce fait délaissées. La seconde alternative sera envisageable lorsque l'on disposera de toxiques plus efficaces que ceux qui sont actuellement disponibles sur le marché. Le déplacement des abreuvoirs vers des zones peu visitées est un artifice techniquement peu commode à réaliser; le rôle de la localisation des abreuvoirs sur la distribution du risque n'a pu être mis en évidence. La stratégie de contrôle qui semble la plus facile à réaliser au stade actuel de nos connaissances est celle développée avec succès dans les régions soumises à un climat similaire en Australie par ANDERSON (1972, 1973), ANDERSON *et al* (1976) et DE CHANEET et DIXON (1982). Les stades libres de Trichostrongyles étant détruits sur les pâturages pendant les fortes chaleurs estivales, le traitement des animaux en fin d'été élimine les stades adultes. La contamination des parcs lors de la reprise du pâturage reste suffisamment faible pour minimiser les risques d'infestation pendant plusieurs mois.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. G. REBOUL responsable du troupeau et MM. L. DAUZIER et M. PRUD'HON pour l'accueil dans leur laboratoire de Zootechnie (INRA-ENSA de Montpellier). Ce travail a été financé par le programme CEE Agrimed "Elevage Ovin Méditerranéen".

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON N. (1972). Trichostrongylid infections of sheep in a winter rainfall region. I. Epizootiological studies in the Western District of Victoria 1966-1967. *Aus. J. Agric. Res.* 23, 1113-1129.
- ANDERSON N. (1973). Trichostrongylid infections of sheep in a winter rainfall region. II. Epizootiological studies in the Western District of Victoria 1967-1968. *Aus. J. Agric. Res.* 24, 599-611.

- ANDERSON N., MORRIS R.S., McTAGGART I.K. (1976). An economic analysis of two schemes for the anthelmintic control of helminthiasis in weaned lambs. *Aus. Vet. J.* 52, 174-180.
- ARNOLD G.W., DUDZINSKY M.L. (1967). Studies on the diet of the grazing animal. III. The effect of pasture species and pasture structure on the herbage intake of sheep. *Aus. J. Agric. Res.* 18, 657-666.
- BACHACOU J., MASSON J.P., MILLIER C. (1981). Manuel de la programmèthèque statistique Amance. INRA-CNRF Pub., 54280 Champenoux (France), 516 p.
- BEKKALI B. (1972). Contribution à l'étude des strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants au Maroc oriental, son épidémiologie et sa prophylaxie. *Th. Vét. ENV Lyon*, 187p.
- CABARET J., BOULEY N., GRUNER L. (1983). Caractérisation des zones à risque parasitaire pour des ovins élevés en liberté sur les parcours des Causses. II. Protostrongylidés. *Ann. Rech. Vét.* 14, 301-310.
- CALLINAN A.P.L. (1978). The ecology of the free-living stages of *Trichostrongylus vitrinus*. *Int. J. Parasitol.* 9, 133-136.
- CALLINAN A.P.L. (1979). The ecology of the free-living stages of *Ostertagia ostertagi*. *Int. J. Parasitol.* 9, 233-237.
- DAGET P., POISSONNET J. (1971). Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agron.* 22, 5-41.
- DE CHANEET G.C., DIXON F.F. (1982). Response of young cattle to anthelmintic treatment during Autumn in a mediterranean-type climatic environment. *Vet. Parasitol.* 8, 143-148.
- DONALD A.D., LESLIE R.T. (1969). Population studies of the infective stage of some nematode parasites of sheep. II. The distribution of faecal deposits on fields grazed by sheep. *Parasitol.* 59, 141-157.
- FAVRE Y. (1979). Etude de l'organisation sociale et de l'utilisation de l'espace par les ovins (*Ovis aries* L.) en liberté. *Th. Dr. Ing., Aix-Marseille*, 200p.
- GRUNER L. (1986). Strongyle larval recovery from ovine faeces sampled on pasture: efficiency of the baermannization and epidemiological interest of the technique. *IVth Int. Symp. Vet. Diag., June 2-6, Amsterdam, The Netherlands*, 186-189.
- GRUNER L., BOULEY N., HUBERT D., MAULEON H., SAUVE C. (1983). Caractérisation des zones à risque parasitaire pour des ovins élevés en liberté sur les parcours des Causses. I. Méthodologie d'études et application aux strongyles gastro-intestinaux. *Ann. Rech. Vét.* 14, 287-300.
- HILDER E.J. (1964). The distribution of plant nutrient by sheep at pasture. *Proc. Aus. Soc. Anim. Prod.* 5, 241-248.
- HILDER E.J. (1966). Distribution of excreta by sheep at pasture. *Proc. 10th. Int. Grassland Cong., Helsinki, July 1966*, 977-981.
- LANGE R.T., WILLOCKS M.C. (1978). The relation between sheep time spent and egesta accumulated within an arid zone paddock. *Aus. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18, 764-767.

- LECLERC B., LECRIVAIN E. (1979). Etude du comportement d'ovins domestiques en élevage extensif sur la Causse du Larzac. *Th. 3ème Cycle, Rennes*, 343p.
- LINEHAN P.A., (1952). Use of cage and mower-trip methods for measuring the forage consumed by grazing animals. *Proc. 6th. Int. Grassland Cong.*, 1328-1333.
- MAULEON H., GRUNER L. (1984). Influence de la déshydratation des fèces d'ovins sur l'évolution des stades libres de strongles gastro-intestinaux. *Ann. Rech. Vét.* 15, 519-528.
- MOUNPORT D. (1984). Utilisation des garrigues par les ovins et risque parasitaire. *Th. 3ème Cycle, USTL, Montpellier*, 178 p.
- MOUNPORT D., GRUNER L., REBOUL G. (1990). Dynamique de l'infestation par des strongles gastro-intestinaux de garrigues pâturées par des ovins en région méditerranéenne. *Ann. Rech. Vét.* 21, 251-258.
- OLECHOWICZ E. (1974). Analysis of a sheep pasture ecosystem in the Pienneny mountains (The Carpatians). X. Sheep dung and the fauna colonizing it. *Ekol. Pol.* 22, 589-616.
- ROJAS B.A. (1964). La binomial negativa y la estimacion de intensidad de plagas en el suelo. *Phytotecnica latino america* 1, 27-37.
- SOUTHCOOT W.H., MAJOR G.W., BARGER I.A. (1976). Seasonal pasture contamination and availability of nematodes for grazing sheep. *Aus. J. Agric. Res.* 27, 277-286.
- THIAULT M., PRUD'HON M., REBOUL G., MOLENAT G., THERIEZ M. (1979). Amélioration pastorale de la garrigue. In: Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens. *INRA Publ., Versailles*, 377-396.
- TSIRESY R.V. (1980). Comportement alimentaire de la brebis sur parcours de garrigue. *Th. 3ème Cycle, USTL Montpellier*, 56 p.
- URIARTE J., TANCO J.A., GUILLEN A., MARCO M.M. (1984). Evolucion y supervivencia de los estados libres de la familia *Trichostrongylidae* en los secanos de la provincia de Zaragoza. *An. INIA, Ser. Ganad.* 20, 11-23.



## Analyse pollinique de paléosols du Sub-Atlantique dans le Nord-Ouest de la péninsule ibérique

M. P. SAA OTERO\*  
E. DIAZ LOSADA\*

**RESUME -** *L'analyse pollinique de deux sites archéologiques dont la chronologie C-14 est de 2560 ± 50 BP. Ces sites "Coto de Mosteiro" et "Cidade de San Cibrán de Las", sont tous deux situés près de Carballiño (Orense).*

*De ces analyses, nous obtenons des données, complétées par celles de l'analyse d'un dépôt lacustre, sur la végétation de la période Subatlantique dans le Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique.*

*A la fin de la période Subboréale et au début du Subatlantique, la végétation arborescente était composée de Quercus à feuilles caduques avec de petites quantités de Corylus et d'autres taxons comme Alnus. Aux environs de 1510 BP, une importante expansion de Castanea a eu lieu de sorte que Quercus et Castanea atteignent des proportions similaires. Dans le Subatlantique récent, ces arbres sont remplacés par Pinus pinaster Aiton de reboisement.*

*Dans les strates non arborescentes les éléments de végétation les plus abondants sont les Ericaceae, les Poaceae et les Cistaceae.*

*Aussi bien dans la composition de la forêt que dans celle du maquis on observe d'importantes oscillations qui caractérisent divers épisodes dans la période Subatlantique.*

**SUMMARY -** *It has done pollen analysis of two deposit culture "military" which chronology C-14 between 2560 ± 50 BP and 2440 ± 60 BP. The deposit's name is "Coto de Mosteiro" and "Cidade de San Cibrán de Las", they are placed both in the nearness Carballiño (Orense). This fact is complemented with the analysis of lake deposit nearly both.*

*About your analysis we get fact about the vegetation of the Subatlantic period in the NW of Iberian peninsula.*

*At the end of Subboreal and beginning of Subatlantic the tree vegetation of the place was formed for Quercus with small quantity of Corylus and Alnus. Around the 1510 BP a very important expansion of Castanea produces, so that Quercus and Castanea get similar proportion.*

*In the late Subatlantic those trees are replaced for Pinus pinaster Aiton afforestation.*

*In the no tree stratum the vegetation's elements more abundant are the Ericaceae, Poaceae and Cistaceae. As well in the composition of the forest as low mount, we can see important fluctuation that characterize different incidents into the Subatlantic.*

**MOTS CLES :** Analyse pollinique, Subboréal, Subatlantique, Archéologie.

### Introduction

Dans ces dernières années la connaissance de la végétation de la période post-glaciaire et de l'Holocène de Galice s'est considérablement accrue (MENENDEZ AMOR, 1961 ; JATO RODRIGUEZ, 1974 ; TORRAS TRONCOSO, 1982 ; SAA OTERO, 1985 ; AIRA RODRIGUEZ, 1986 ; LOPEZ GARCIA, 1984 ; VAN MOURIK, 1986 entre autres).

Orense est la province de la Galice pour laquelle nous possédons le moins d'informations sur la variation de la végétation pendant la période Subatlantique. Nous avons accepté la possibilité -

\*Département de Biologie Végétale, Collège Universitaire de Orense, Orense, Espagne.

qui nous a été offerté par la "Conselleria de Cultura e Deportes" pour réaliser l'étude palinologique - de deux sites archéologiques parce que, á partir de la période Atlantique, les variations de la couverture végétale sont, en grande partie, conditionnées par l'action humaine.

I - LOCALISATION DES PRELEVEMENTS

1 - Site de Coto de Mosteiro (figure 1)

Nous avons fait l'analyse pollinique d'une coupe, que nous avons nommée coupe E, située dans la partie Est du village ; il s'agit d'un paléosol enterré sous une construction antique formée par une seul niveau organique à même la roche-mère, et au-dessus d'une couche d'apport. Exceptés les

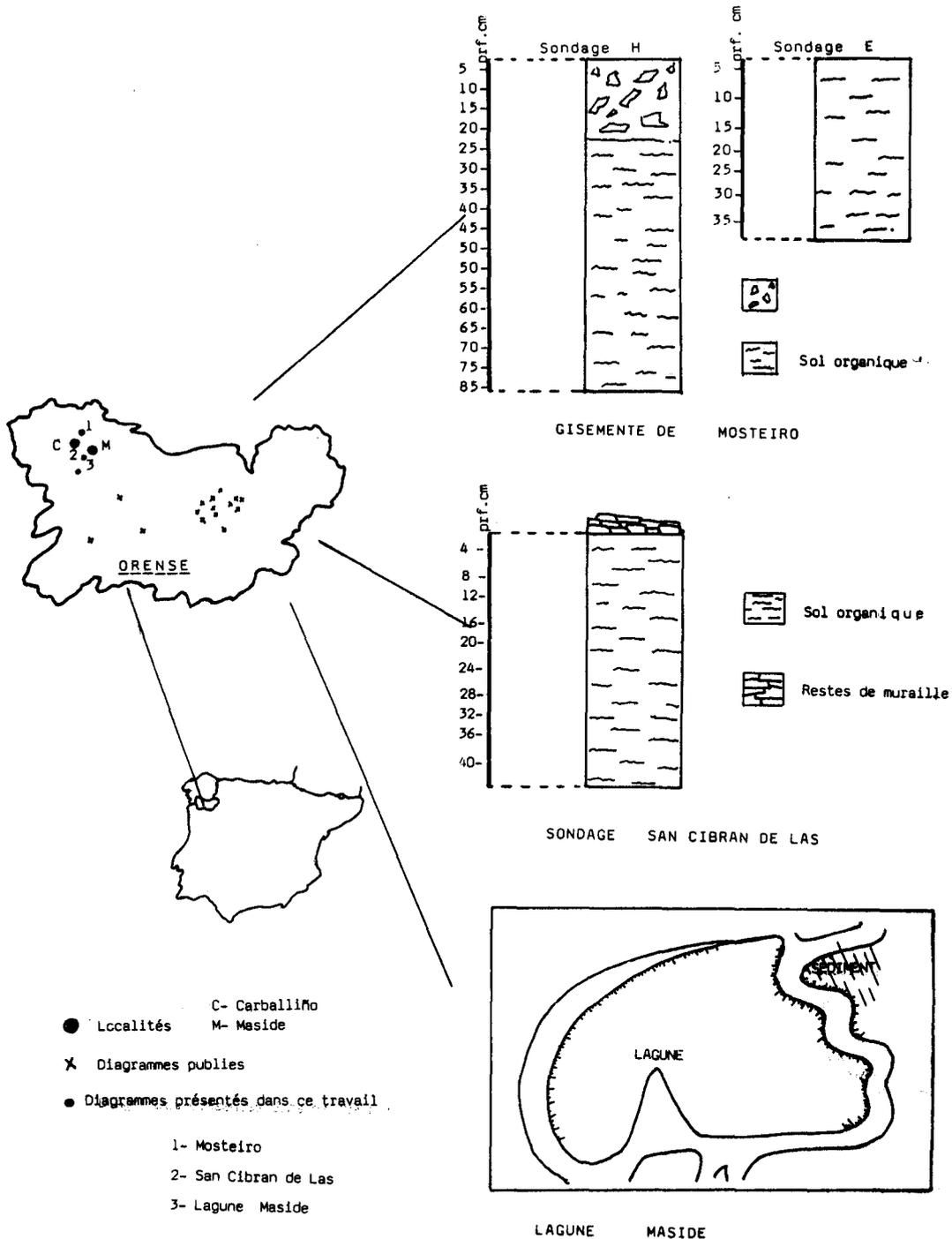


Fig. 1.- Situation des sondages

centimètres superficiels, car il s'agit de matériaux d'éboulement, nous avons analysé en tout 85 cm, en effectuant des prélèvements tous les 5 cm.

Une petite coupe de 35 cm a aussi été analysée, dans laquelle nous avons trouvé des charbons dont la datation au C-14 est de  $2560 \pm 50$  BP (ICEM-411). Cette coupe, désignée comme coupe H, est située sur la face Ouest du village.

## 2 - Site de Cidade de San Cibrán de Las (figure 1)

Nous avons réalisé des prélèvements dans une coupe située sous la muraille du village dont la profondeur analysée est de 40 cm. Sur une coupe située à l'intérieur du site, nous avons trouvé des charbons de datation C-14 de  $2440 \pm 60$  BP (ICEM-410).

## 3 - Lagune de Maside (figure 1)

Afin de pouvoir compléter les données de végétation obtenues dans les sites, nous avons fait l'analyse pollinique de sédiments tirés d'une lagune située dans le territoire communal de Maside (Orense). Cette lagune, à l'heure actuelle est un écosystème lacustre, fut une exploitation aurifère à ciel ouvert, pendant l'occupation romaine (RODRIGUEZ COLMENERO, A. 1977). Cette cuvette, d'environ 40 m de profondeur en sa partie la plus profonde, s'est transformée en la lagune actuelle. Nous n'avons pu tirer que 88 cm de sédiments du lac à cause de difficultés mécaniques de la sonde.

## Resultats

Les données polliniques obtenues des coupes du site de Mosteiro sont représentées sur les figures 2 et 3 respectivement. Sur les deux, Quercus se présente comme l'élément arborescent le plus abondant. La présence de Castanea et Corylus est intéressante. Dans la strate non arborescente, les Poaceae sont bien représentées à tous les niveaux ; les Ericaceae et les Cistaceae manifestent d'importantes oscillations à diverses profondeurs. Les Poaceae de culture sont présentes à la base du diagramme.

A San Cibrán de Las, (figure 4) Quercus est aussi l'élément de végétation arborescente le plus abondant, il atteint même 41 % du total de la végétation. Corylus est relativement abondant, il manque Castanea, Alnus et Salix ont de très basses représentations. Le pourcentage non arborescent le plus élevé appartient au Poaceae, Ericaceae et Cistaceae.

Dans le sédiment lacustre (figure 5) on apprécie diverses étapes dans la composition de la forêt. Dans les niveaux les plus profonds, Quercus et Castanea sont abondants. En surface, Castanea disparaît, Quercus descend considérablement et Pinus atteint 55 % du total. Alnus, Betula et Corylus ont une faible représentation. Les taxons non arborescents les plus abondants sont les Poaceae, Ericaceae et Halimium. Il y a des Poaceae de culture dans toute la profondeur ; il existe en outre, une grande diversité de types polliniques entre lesquels se trouvent les plantes propres à l'écosystème lacustre (exemple Carex flacca, Iypha, etc.).

## Discussion et Conclusions

Nous obtenons des données intéressantes à propos des caractéristiques de la végétation du Subatlantique dans une zone géographique pour laquelle les informations sont rares.

La coupe "E" de Mosteiro est à notre avis, par sa localisation et les caractéristiques de la végétation, celle qui offre la chronologie la plus ancienne, que nous ne pouvons pas préciser avec exactitude mais qui peut correspondre certainement à la période Subboréale (MENENDEZ AMOR & FLORSCHUTZ, 1961). Le paysage végétal serait conditionné par la présence de Quercus. Corylus, Castanea et Alnus en ferait partie en moindre quantité. La végétation non arborescente serait déterminée par la présence de Poaceae, Ericaceae et le genre Halimium.

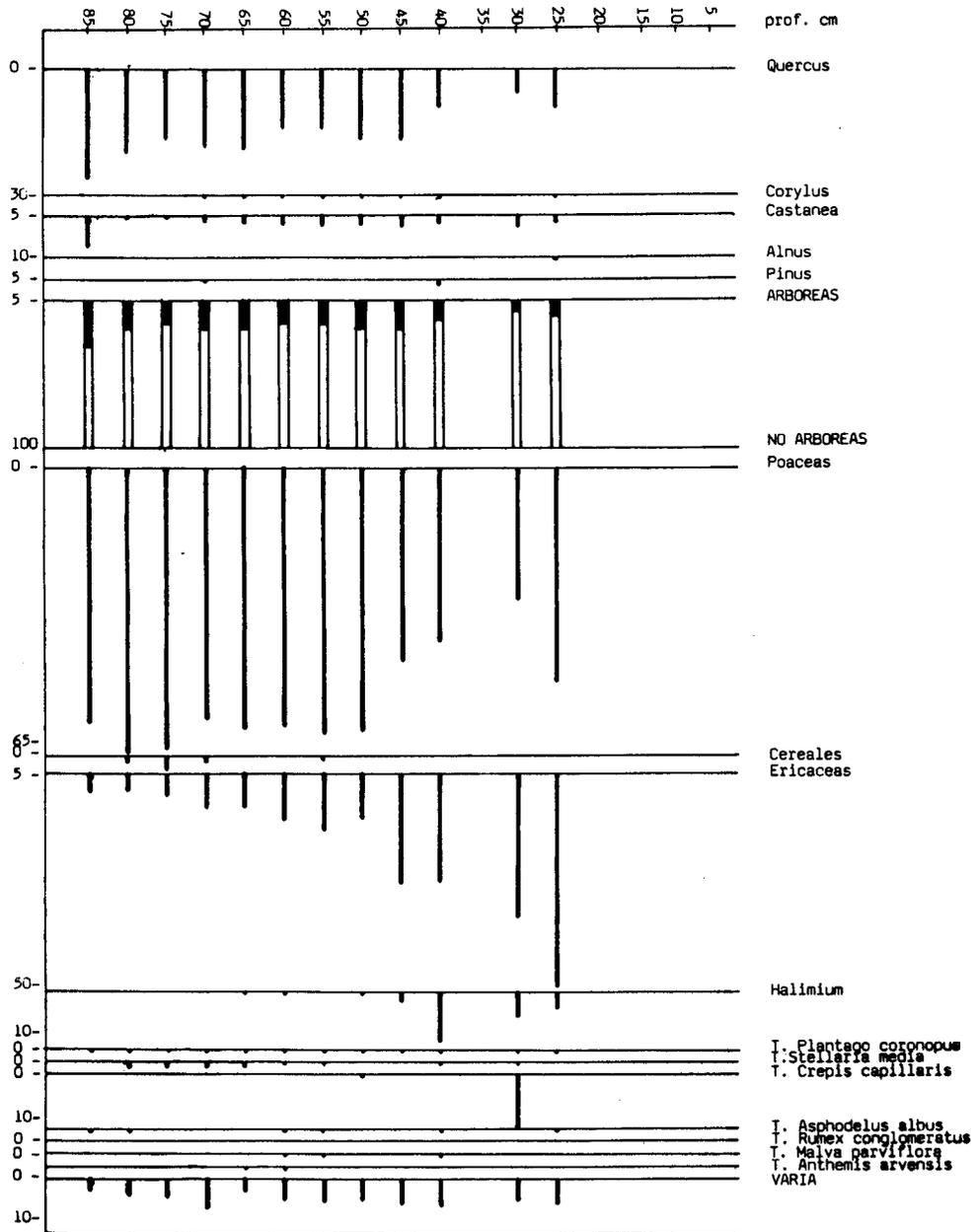


Fig. 2 - Diagramme pollinique de Coto de Mosteiro "E".

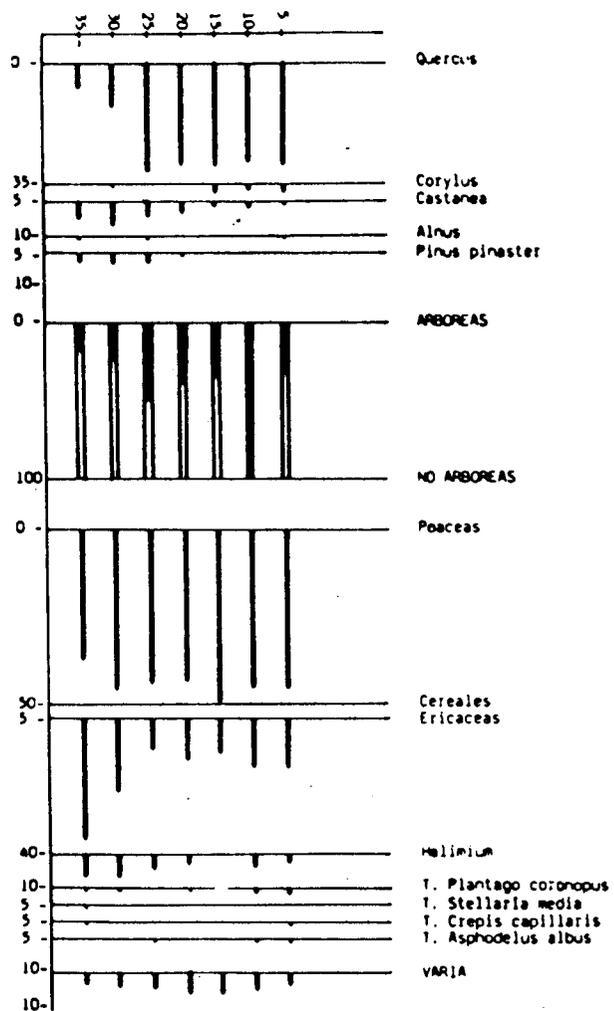


Fig 3 .- Diagramme pollinique de Coto de Mosteiro "H"

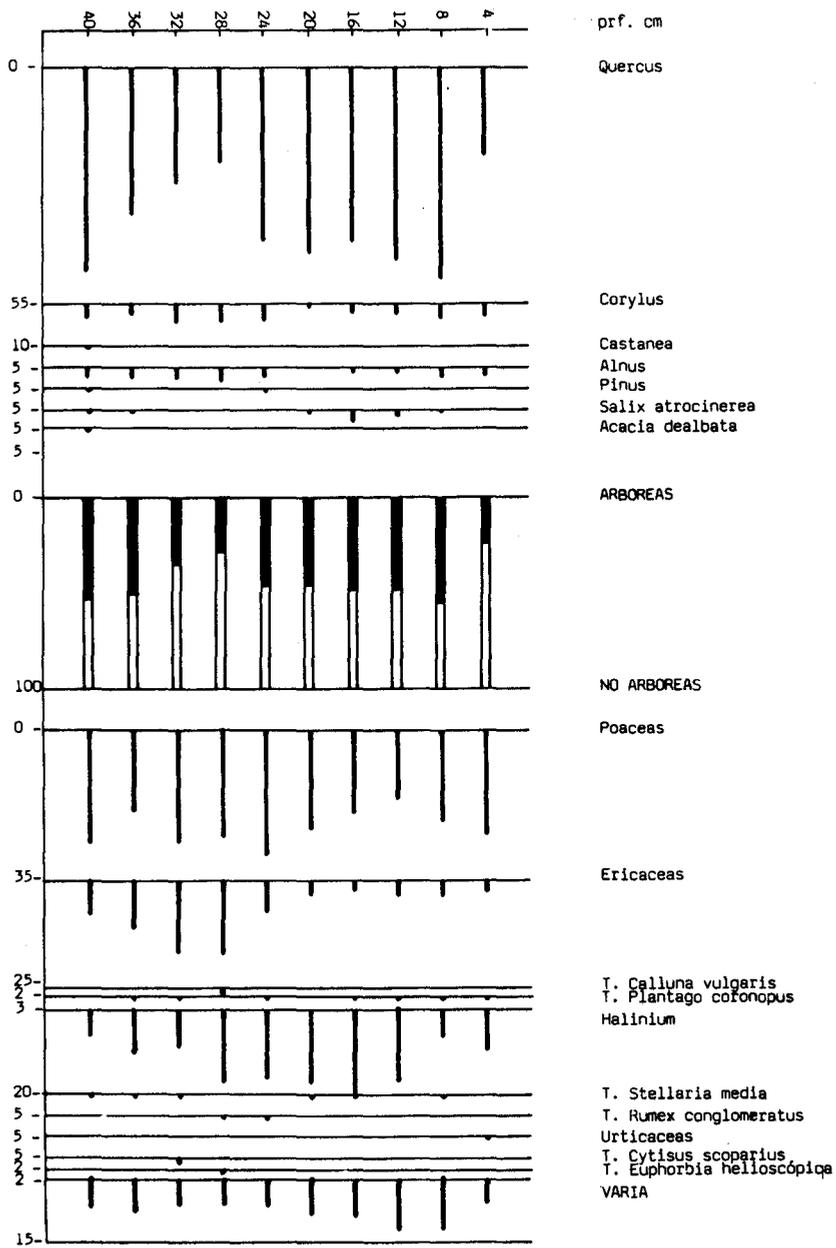


Fig. 4 - Diagramme pollinique de San Cibrán de Las "Muralla".



On peut distinguer deux épisodes de végétation dont on peut chercher l'origine, soit dans des oscillations climatiques propres au Subboréal, soit dans l'action de l'homme. L'épisode le plus ancien est caractérisé par l'abondante végétation arborescente (Quercus et Castanea), la grande quantité de Poaceae, peu d'Ericaceae et l'absence de Cistaceae. A la base du diagramme on observe une abondance relative de Castanea et un maximum de Quercus, ce qui fait penser à la possibilité d'une oscillation chaude dans le Subboréal. Le second épisode arborescente, un accroissement des Ericaceae et l'apparition des Cistaceae. Mais, l'apparition de graminées de culture, dès la base, nous fait penser à la possibilité que ces oscillations puissent être d'origine humaine.

Au niveau 35 cm de la coupe "E" de Mosteiro, à la base de la coupe "H" et à 28 cm de San Cibrán de Las a lieu un minimum de végétation arborescente avec un accroissement important d'Ericaceae et Cistaceae. Ce minimum pourrait représenter le passage du Subboréal au Subatlantique (MENENDEZ AMOR et FLORSCHUTZ, 1961). Cette situation se produisit aussi entre 36 et 24 cm de la Coupe de San Cibrán de Las. L'amélioration climatique de la période Subatlantique détermine la récupération de la forêt, la diminution des Ericaceae, et, à San Cibrán de Las, un accroissement des Cistaceae (genre Halimium). A ce moment-là a dû se produire l'occupation des villages dont la chronologie C-14 remonte à 2440±60 BP pour San Cibrán de Las et de 2560±50 BP pour Mosteiro. Cette donnée a été observée dans un autre site proche (AIRA RODRIGUEZ, M. J. et SAA OTERO, M. P. 1989).

Dans le diagramme de la Lagune de Maside on peut apprécier diverses étapes de la végétation du Subatlantique le plus récent. Les niveaux compris entre 88 cm et 57 cm correspondent à une étape de culture de Castanea. VAN MOURIK (1985), situe son début en Galice vers 1510 BP et sa présence a été constatée dans d'autres dépôts (SAA OTERO, M. P. et DIAZ FIERROS, F. 1983). Pendant cette période, les forêts de Quercus se conservent et l'action humaine est patente autant par la présence de pollens de Poaceae de culture que par l'importance des Ericaceae et la couverture arborescente relativement faible.

Dans les niveaux suivants (57-42 cm) on observe une régression de Castanea, un maintien de Quercus et un accroissement des Ericaceae. Ce fait est plus probablement dû à des causes démographiques (décroissance de la population) qu'à des facteurs climatiques ; on observe une chute dans le pourcentage des céréales et les plantes propres au système écologique du lac sont présentes avec plus d'intensité (Carex, Ranunculus, etc.).

Entre 42-30 cm une disparition totale de la végétation arborescente a lieu, ainsi qu'un accroissement important des bruyères.

On observe cette disparition dans presque tous les diagrammes qui ont été faits pour cette période en Galice (SAA OTERO, M. P., 1985) et cela est probablement dû à une augmentation de la pression démographique.

La surface du diagramme représente la situation préactuelle où le processus de reboisement avec Pinus pinaster Aiton et la chute des Ericaceae sont sensibles.

Bibliographie

- AIRA RODRIGUEZ, M. J. (1986). Contribución al estudio de los suelos fósiles de montaña y antrpógenos de Galicia, por análisis polínico. Tesis doctoral. Universidad de Santiago.
- AIRA RODRIGUEZ, M. J. et SAA OTERO, M. P. (1988). Contribución al conocimiento de la vegetación Holocena (3000-2210 BP ) de la provincia de Pontevedra a través del análisis polínico. Ana. Real Jard. Bot. de Madrid., 45, 461-474.
- JATO RODRIGUEZ, M. V. (1974). Contribución a la cronología de suelos por análisis de polen. Tesis doctoral. Santiago de Compostela.
- LOPEZ GARCIA, M. P. (1981). Análisis polínico de los sedimentos arqueológicos del yacimiento de "O Fión". Pontevedra arqueológica, 1, 145-184.
- LOPEZ GARCIA, M. P. (1984). Estudio polínico de los sedimentos del yacimiento de Lavapés. Pontevedra - arqueológica, 1, 179-181.
- MENENDEZ AMOR, J. et FLORSCHUTZ (1961). Contribución al conocimiento de la historia de la vegetación en España durante el Cuaternario. Estudios geológicos, 17, 83-89.
- RODRIGUEZ COLMENERO, A. (1977). Galicia Meridional Romana. Univ. de Deusto.
- SAA OTERO, M. P. (1985). Análisis polínico de un sedimento de tipo Marsh, en la marisma de Catoira (Pontevedra). Cuadernos del Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 5, 191-204.
- SAA OTERO, M. P. (1985). Contribución a la cronología de sedimentos costeros por análisis polínico. Tesis Doctoral. Santiago de Compostela.
- TORRAS TRONCOSO, M. L. (1982). Aplicación del análisis polínico a la datación de paleosuelos en Galicia Tesis doctoral. Santiago de Compostela.
- VAN MOURIK, J. M. (1986). Pollen Profils of Slope Deposits in The Galician Area. N.W. Spain. Ed. Board. Amstedan.



# VI° CONGRES EUROPEEN D'ECOLOGIE



## ORGANISE PAR LA FEDERATION EUROPEENNE D'ECOLOGIE ET LA SOCIETE FRANCAISE D'ECOLOGIE à MARSEILLE en SEPTEMBRE 1992

Le 6° Congrès européen d'Ecologie sera organisé pour la première fois par la Fédération Européenne d'Ecologie, fondée en mars 1990 afin de promouvoir la coopération entre les écologistes européens. Le congrès comprendra, le matin, des séances plénières avec des conférenciers invités et des communications et l'après-midi, des sessions parallèles avec des communications orales et par posters sur des thèmes différents.

Les thèmes des séances plénières sont:

- Impacts urbains sur les écosystèmes
- Risques écologiques
- Génétique écologique et comportement
- Bases écologiques en vue de la conservation de la biodiversité

Les thèmes envisagés pour les sessions de l'après-midi sont:

- Contraintes écologiques et stratégies des cycles de vie
- Intégration des communautés dans leur environnement physique
- Dynamique des écosystèmes, évolution des paysages et impact humain
- Perturbations
- Risques environnementaux et contrôle biologique du génie génétique
- Génétique, dynamique et modélisation des populations en habitat fragmenté
- Approches théoriques de l'écologie et études de cas
- Ecologie microbienne
- Dynamique et hétérogénéité
- Bioénergétique et comportements trophiques
- Impact de la déforestation sur les écosystèmes naturels

Toutes les suggestions concernant des thèmes supplémentaires reçues avant le 1° Avril 1991 seront prises en considération.

Le programme définitif dépendra du niveau d'intérêt des différents thèmes.

La langue principale du congrès sera l'anglais, mais le français pourra être accepté.

Les actes du congrès seront publiés selon les règles en vigueur dans les revues scientifiques.

Des ateliers fédérateurs sur des thèmes particuliers pourront être organisés le soir.

La première circulaire sera distribuée à toute personne ayant manifesté un intérêt pour le congrès avant le 1° Avril 1991. Prière d'indiquer le thème qui vous intéresse, si vous prévoyez de présenter une communication orale ou par poster.

Toute information pourra être obtenue au bureau du congrès auprès de

Dr D.BELLAN-SANTINI  
Vice-Présidente de la Société Française d'Ecologie  
Centre d'Océanologie de Marseille  
Station Marine d'Endoume  
rue Batterie des Lions 13007 MARSEILLE

Dr G.BONIN  
Biosystématique et Ecologie Méditerranéenne  
Université de Provence Centre de St Jérôme  
rue Escadrille Normandie-Niemen  
13397 MARSEILLE CEDEX 13 FAX 91.04.16.35

Pour la Société Française d'Ecologie  
Dr P.JOUVENTIN  
CEBAS CNRS VILLIERS EN BOIS  
79360 BEAUVOIS /NIORT

Pour la Fédération Européenne d'Ecologie  
Dr P. GILLER  
Dept of Zoology Lee Maltings Prospect Row  
CORK IRELAND FAX 21.27.40.34

Preliminary Announcement of the  
**6th European Ecological Congress**  
Organised by European Ecological Federation and Société Française d'Ecologie  
Marseille, France, September 7th to 11th, 1992



This is the 6th European Ecological Congress but the first organised under the auspices of the European Ecological Federation which was established in March 1990 by Ecological Societies throughout Europe to promote cooperation within the Science of Ecology. The Congress will have a new format and involve both morning Plenary sessions, with invited speakers and contributed papers, and afternoon parallel sessions of contributed papers and poster sessions a wide range of topics.

-The **Plenary session themes** are:

1. Urban impacts on ecosystems
2. Ecological genetics and behavioural ecology
3. Ecological risk
4. Ecological basis for biodiversity conservation

-The range of topics suggested for the **afternoon sessions** include:

- Ecological constraints and life history strategies of plants and animals
- Genetics, dynamics and modelling of populations in fragmented habitats
- Ecosystem dynamics, landscape changes and human impact
- Impact of afforestation on natural ecosystems
- Disturbance
- Integration between the physical environment and communities
- Theoretical approaches to ecology and case studies
- Dynamics and heterogeneity
- Environmental risks of biological control and genetically engineered organisms
- Microbial ecology
- Bioenergetics and trophic behaviour

The organisers would welcome suggestions for additional topics by **1st April 1991**. The inclusion of topics in the final programme will depend on the level of interest shown by offered papers.

The Congress language will be English, but some papers may be accepted in French if simultaneous translation facilities are available.

The Proceedings of the Congress will be published in a single volume.

It is also hoped to run afternoon/evening workshops of help establish the formation of Specialist Groups within the Federation. Any individual or group interested in organising/establishing a specialist group should contact the General Secretary of the Federation.

To receive the First Circular, please **send an expression of interest** in attending the Congress, and an indication as to whether you intend to present a paper or poster to the Congress Office, by **1st April 1991**. Further information can also be obtained from this Office or from the Programme Secretary of the Federation.

Congress Office

**Dr. D. Bellan- Santini**  
Centre d'Océanologie  
Station Marine d'Endoume,  
rue Batterie des Lions,  
13007, Marseille, France.  
Fax.: 33. 91. 04. 16. 35

European Ecological Federation.

General Secretary, **Dr. P. Enckell**,  
Dept. of Ecology, Ecology Building,  
Lund University, S 22362, Lund, Sweden  
Fax.: 46- 46-119552

**Dr.G. Bonin**

Biosystematique et Ecologie Méditerranéenne  
Université de Provence, Centre de St Jérôme,  
rue Escadrille Normandie-Niemen  
13397, Marseille, France.  
Fax.: 33. 91. 02. 05. 50

Programme Secretary, **Dr P. GILLER**  
Dept. of Zoology, University College  
Lee Maltings, Prospect Row, Cork, Ireland  
Fax.: 353. 21. 274034

## Avis aux auteurs désirant publier dans la revue

### Ecologia Mediterranea

#### Généralités

**Ecologia Mediterranea** publie des travaux originaux et des mises au point sur des sujets se rapportant à l'écologie générale, fondamentale ou appliquée, terrestre et limnique, en régions méditerranéennes. Les articles peuvent être rédigés, de préférence, en français ou en anglais, mais aussi en allemand, en espagnol ou en italien.

**Ecologia Mediterranea est équipée d'un matériel informatique destiné à assurer la composition de la revue, tout en augmentant sa qualité et son homogénéité, permettant ainsi une parution plus rapide.**

Ce matériel comporte d'une part un micro-ordinateur de la famille des PC compatibles MS-DOS, muni de deux lecteurs permettant de lire des disquettes de 3" 1/2 (de 720 Ko ou 1,4 Mo) et de 5" 1/4 (de 360 Ko ou 1,2 Mo) et, d'autre part, d'une imprimante Laser Postscript. Les logiciels utilisés sont "PageMaker" pour la composition et "Word5" pour le traitement de texte. Les textes saisis sous "MacIntosh" seront récupérés sous "MS-DOS".

#### Texte

Les articles proposés doivent être envoyés, en triple exemplaire, dactylographiés en double interligne, en format A4, au Secrétariat général de la revue, accompagnés de la disquette contenant le texte déjà informatisé. Les articles doivent être complets : titres français et anglais, auteur(s) et adresse(s), résumé et abstract (au minimum), mots clés, texte, conclusion, bibliographie, figures et tableaux, afin d'être soumis au Comité de lecture avant confirmation de leur acceptation. Les tableaux numériques, les tableaux phytosociologiques et, si possible les graphiques, seront inclus dans le texte informatisé. N'envoyez les figures originales qu'après acceptation de l'article. Les disquettes seront renvoyées.

Les articles comportant plus de 20 pages seront acceptés dans la mesure des possibilités. Les vingt premières pages des articles (incluant tableaux et figures) seront édités à titre gracieux. Les pages excédentaires seront facturées. Il est fourni 25 tirés-à-part par article, même lorsqu'il y a des auteurs multiples. A la demande, des tirés-à-part supplémentaires peuvent être obtenus : ils seront facturés.

Une fois leur article accepté, les auteurs devront tenir compte des remarques des lecteurs, puis ils renverront leur **texte corrigé imprimé** (en un exemplaire) et **informatisé**. Ils devront s'assurer de la correspondance entre le texte imprimé (pour contrôle) et le texte informatisé. Les figures et les photographies originales seront jointes à l'envoi. La disquette et les documents associés doivent parvenir dans les meilleurs délais au Secrétariat de la revue.

#### Résumé et mots-clés

Le résumé doit comporter 100 à 150 mots au maximum. Le nombre de mots-clés est limité à 5, dans la langue des résumés.

#### Auteurs et Adresses

L'adresse de chaque auteur sera indiquée. Chaque adresse doit être complète et comportera le numéro de téléphone ou de télécopie (fax), pour faciliter les communications avec l'auteur principal. Dans le cas où une publication est le fait de plusieurs auteurs, lors du premier envoi, l'auteur devra préciser la personne à qui doit être retourné l'article, après lecture.

#### Bibliographie

La bibliographie regroupera toutes les références citées et elles seules. Les références seront rangées dans l'ordre alphabétique des auteurs et de façon chronologique. Les abréviations internationales des titres des revues peuvent être utilisées.

#### Conventions

Sur le plan de la saisie du texte, il est simplement demandé aux auteurs de distinguer clairement les titres des différents paragraphes, de taper le texte "au kilomètre", en respectant les conventions ci-dessous. La mise en forme définitive du texte sera assurée par la revue.

#### Principaux titres et numérotation

Introduction, Matériel et méthodes, Résultats, Conclusion et Bibliographie seront centrés pour faciliter la lecture : ils ne seront pas numérotés. Pour numéroter les sous-chapitres, éviter les lettres.

#### Abréviations

Les abréviations sont à proscrire, sauf les plus courantes. En tout état de cause, l'usage d'une abréviation technique doit être précédée de sa signification lors de sa première apparition.

#### Citations et renvois appelés dans le texte

Les mots "figures" et "tableaux" annoncés dans le texte sont écrits en toutes lettres et en minuscules. *Exemples* : ... sur la figure 3. ... comme le montre la carte (figure 3). Ne pas écrire : "voir figure 3", ni "cf. fig. 3". Pour les citations, suivre ces exemples : "ainsi que le dit Dupont (1962)" ou, dès qu'il y a plus d'un auteur, "(Dupont *et al.*, 1962)". La page de la citation n'est mentionnée que dans le cas où elle correspond à une citation entre guillemets.

#### Mots latins

Les mots latins doivent être mis en *italiques* afin de les distinguer du reste du texte (*et al.*, *a priori*, *stricto sensu*, *etc.*), et en particulier les noms de plantes ou d'animaux (*Quercus toza* et *Q. pubescens*). Pour les plantes une seule majuscule sur le nom de genre, l'épithète reste en minuscules. Pour distinguer un nom d'espèce d'un groupement végétal en latin, il peut être utile de différencier la typographie de ce dernier soit par des lettres grasses, soit par un trait de soulignement.

#### Unités et symboles

Les unités de mesure et les symboles ne sont jamais suivis d'un point. *Exemples* : "10 °C, 100 mm, 10 s, 2.500 m, 50 FF, 50 %".

#### Typographie

En français, n'utilisez les majuscules que pour les noms propres, sauf exception justifiée. Pour associer l'unité de mesure à sa valeur, utilisez l'"espace insécable" plutôt que la barre d'espacement pour éviter que, lors de la justification, la valeur ne se trouve en fin de ligne et son unité en début de la ligne suivante. De même, pour les doubles ponctuations (: ; ! ?), les faire précéder d'un espace insécable. Les ponctuations simples (, .) ne sont pas précédées d'un espace. Par contre, toutes les ponctuations sont suivies d'un espace. Les (parenthèses), les [crochets], les {accollades} et les "guillemets" doivent être accolés aux mots qu'ils encerrent. Le tiret "-" marquant un sous-alinéa sera avantageusement suivi d'un espace "insécable" de façon que le mot qui suit le tiret ne soit séparé que d'un seul espace.

#### Figures et tableaux

Les figures rassemblent tout ce qui est dessin ou photographies ; les tableaux, tout ce qui peut être écrit avec une machine à écrire. Les figures et tableaux, doivent être remis prêts à l'impression, sans nécessiter de réduction (format 15 x 22 cm au maximum). Les caractères utilisés doivent avoir au minimum un millimètre de hauteur tout en restant lisibles (caractères de qualité professionnelle, non manuscrits). Les figures qui ne se prêtent pas à la reproduction seront retournées. Tous les documents (figures et tableaux) devant être insérés dans le texte doivent être annoncés et numérotés dans l'ordre croissant : ils doivent comporter une légende (éviter les formules vagues telles que "pour les explications, voir dans le texte"). Les titres des figures seront inscrits là où l'auteur veut les faire apparaître, en tenant compte de la place qu'elles occuperont. En ce qui concerne les tableaux phytosociologiques, il est indispensable d'indiquer par des points les relevés où la plante ne figure pas, de façon à en permettre l'observation dans les différents relevés où elle se trouve.

Les propositions de publication d'articles doivent être adressées au **Secrétaire général**.

## SOMMAIRE

N. AKRIMI, E. STEEN, A.M'CHAREK, A. JELLALI. – Etude des biomasses souterraines et aériennes développées par certaines espèces forestières, fruitières et fourragères cultivées en Tunisie centrale . . . . .	1
C. ALCARAZ. – Contribution à l'étude des groupements à <i>Quercus ilex</i> et <i>Quercus faginea</i> subsp. <i>tiemcenensis</i> , des monts de Tlemcen (Algérie). . . . .	15
M. BARBERO, H. BRISSE, P. QUEZEL. – Echantillonnage, paramètres, hiérarchie, contraintes de l'information écologique, en vue de la protection des espaces : l'exemple des ZNIEFF en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (P.A.C.A.) . . . . .	33
A. GHEIT, P. AGUESSE. – Le polymorphisme alaire chez les Hémiptères aquatiques ( <i>Amphicorisa</i> ) : son impact sur la prédation interspécifique et le cannibalisme intra-spécifique . . . . .	47
M. KARAMAOUNA. – Ecological structure of a iulid millipede population ( <i>Megaphyllum bicolor crassiflagellum</i> ) in a maquis ecosystem of the Aegen (Naxos island, Cyclades, Greece)	55
J.C. KLEIN, A. LACOSTE. – Les chênaies à <i>Quercus macranthera</i> F. et M. dans le massif de l'Alborz (Iran) et les chaînes limitrophes (grand et petit Caucase) . . . . .	65
H.N. LE HOUEROU. – Classification écoclimatique des zones arides (s.l.) de l'Afrique du Nord ....	95
D. MOUNPORT, L. GRUNER, M. LAGACHERIE. – Utilisation des garrigues par les ovins et risque parasitaire vis-à-vis des strongles gastro-intestinaux . . . . .	145
M.P. SAA OTERO, E. DIAZ LOSADA. – Analyse pollinique de paléosols du Sub-Atlantique dans le Nord-Ouest de la péninsule ibérique . . . . .	161