

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 10 (2^{ème} série), Fascicule 1
parution 2003

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Extraits des Statuts

Article 2

- Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.
- La Société se réunit de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.
- La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel (1).

Article 5

Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans l'une des séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre au cours de la séance suivante.

Extraits du Règlement Intérieur

§ 7. - Les Annales et leur supplément constituent le compte rendu des séances.

§ 13. - Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. - Les notes et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. - Les Mémoires sont publiés par fascicule après décision du Conseil.

Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

Tirages à part

Conformément au paragraphe 14 du Règlement Intérieur (Tome LXXXI, p. 12), les tirages à part sont à la charge des auteurs qui doivent en faire par écrit la déclaration expresse du bon à tirer.

Cotisations et Abonnements (à la date du 1/1/2001)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et C.E.E.	Personnes physiques (2) (3)	7,62 €	25,92 € T.T.C.	33,54 €
AUTRES PAYS	Personnes physiques	7,62 €	28,98 € T.T.C.	36,60 €

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E.: 55,60 € H.T. — ÉTRANGER : 64,00 €

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entières aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément.

Tomes I à LXXIX (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII)	30,50 € H.T.
Tomes LXXX à XCV (manque XCI)	41,20 € H.T.
Tomes XCVI à CV	50,30 € H.T.
Tome CVI	58,70 € H.T.

TABLES GÉNÉRALES DES ANNALES

Table 1 (Tomes I à XX) - Table 2 (Tomes XX à XXX) - Table 3 (Tomes XXXI à XL) - Table 4 (Tomes XLI à LXXIX)	7,65 € H.T.
Table 5 (Tomes LXXX à CIX)	par table

Esquisse géologique du Nord de la France, par J. GOSSELET, Fascicule IV (Terrains quaternaires)	4,40 € H.T.
Ecorché géologique infra mésozoïque (extrait de "Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France", présentée par C.F.P. (M), COPESEP et S.N.P.A.)	7,65 € H.T.

FASCICULES SPÉCIAUX

"Géologie du Nord de la France" (T. LXXXIX, fasc. 1)	13,00 € H.T.
"Rupture des roches et massifs rocheux" (T. XCV, fasc. 3)	10,65 € H.T.
"Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale" (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1)	30,50 € H.T.
"Apports récents à la Géologie du Gondwana" (T. XCVII, fasc. 4)	23,00 € H.T.
"Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens" (T. XCIX, fasc. 1)	23,00 € H.T.
"Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières" (T. CII, fasc. 2)	23,00 € H.T.
"Tectonique cassante en distension et coulissement" (T. CIII, fasc. 2-3)	38,10 € H.T.
"Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies" (T. CV, fasc. 2)	19,00 € H.T.
"Paléozoïque supérieur continental" (T. CVI, fasc. 2)	45,75 € H.T.
"Actualisation de quelques thèmes géologiques" (T. CVI, fasc. 4)	19,00 € H.T.
"Géologie et aménagement régional" (T. CIX, fasc. 2)	38,10 € T.T.C.
"Le Nord et son environnement géologique." (T. 2, 2 ^{me} série, fasc. 1)	26,70 € H.T.

(1) Modification adoptée lors de l'Assemblée Générale du 10 janvier 1974.

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (12,20 €), soit un total de 19,85 €.

(3) Les membres de l'APBG peuvent bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (18,30 €), soit un total de 25,95 €.

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 10 (2^{ème} série), Fascicule 1
parution 2003

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 2001 —

<i>Président</i>	M. J-L. MANSY
<i>Premier Vice-Président</i>	(*)
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M. N. TRIBOVILLARD
	M. J. SOMMÉ
<i>Conseillers</i>	M ^{me} Ch. VINCHON
	M. A. BLIECK
	M ^{lle} D. BRICE
	M. J.F. DECONINCK
	M. O. AVERBUCH
	M. F. ROBAZYNSKI
<i>Secrétaire</i>	(*)
<i>Secrétaire Adjoint</i>	M. F. LACQUEMENT
<i>Trésorier</i>	M. J.M. DÉGARDIN
<i>Déléguée aux Publications</i>	M ^{me} Paule CORSIN
<i>Bibliothécaire</i>	M. A. TRENTESAUX

CONSEIL SCIENTIFIQUE

— 2001 —

MM. W. CHRISTENSEN (Copenhague), A. DELMER (Bruxelles), W. KUNHT (Kiel),
B. PEYBERNES (Toulouse), M. PRICE (Reading) et H. ZIJLSTRA (Utrecht).

CONSEIL ÉDITORIAL

— 2001 —

MM. A. BLIECK, J.F. DECONINCK, J. FERRIÈRE, B. MISTIAEN et J. SOMMÉ

M^{me} Ch. VINCHON.

(*) Par suite des démissions du Président et du Secrétaire, le Conseil d'Administration ne sera complet qu'après les élections qui auront lieu courant Octobre. M. J-L. MANSY, Premier Vice-Président en 2000, a été élu Président en remplacement de M. J.P. LEPRETRE

ZIRCONS FUSIFORMES DANS DES GRANITES FILONIENS DU MASSIF HERCYNIEU DU BOUDOUFOUD (MAROC ORIENTAL)

Tapered zircons in granitic dykes of the Boudoufoud Variscan massif (Eastern Morocco)

Par Paul HUVELIN (*) et Dominique GASQUET (**)

(Planches I à IV)

Résumé. — Les leucogranites filoniens recoupant le batholite de granite à gros grain au flanc est du massif hercynien du Boudoufoud renferment au moins deux générations de zircons : des zircons anciens, riches en inclusions et des zircons plus récents, limpides. Ces derniers, parfois en surcroissance sur les premiers, présentent des faciès particuliers : faisceaux d'acicules et surtout zircons fusiformes.

L'apparition de ces formes cristallines insolites, peut-être des nouveautés minéralogiques, pourrait être en relation avec une variation progressive des conditions thermodynamiques et du chimisme du magma durant la mise en place du granite. L'ascension de ce dernier semble avoir été guidée par des failles de cisaillement qui ont remonté simultanément, à la bordure orientale du massif, des roches ultrabasiques (précambriennes ? hercyniennes – précoces ?) partiellement assimilées par le magma et donc susceptibles d'en affecter la composition.

Abstract. — *In leucogranitic dykes, cutting the batholithic coarse-grained granite at the eastern border of the Boudoufoud Variscan massif, there are at least two generations of zircon: inclusion-rich early zircons and younger limpid ones. The latter, some of which have grown over the former, show unusual facies: bundles of needles and, especially, tapered (spindle-shaped) needles.*

The occurrence of these oddly shaped crystals, perhaps mineralogical novelty, may be connected with a gradual change in the thermodynamic conditions and in the magma composition during the emplacement of the granite. Shear faults seem to have controlled the rising and simultaneously induced the uplift of (Precambrian ? Early Variscan ?) ultramafic rocks at the eastern border of the massif. These rocks were partially assimilated by the magma and are likely to have affected its composition.

Dans le massif hercynien du Boudoufoud, à 300 km à l'ENE de Rabat et à une trentaine de kilomètres au NNW de Guercif (fig. 1), des zircons aciculaires à croissance particulière apparaissent dans des granites filoniens à grain moyen. Parmi ces cristaux aciculaires, les "zircons fusiformes", qui semblent n'avoir encore jamais été signalés dans le monde, présentent un intérêt particulier.

I. — CADRE GEOLOGIQUE DES FILONS GRANITIQUES PORTEURS

Les granites à grain moyen ou leucogranites, porteurs des zircons aciculaires, forment des dykes clairs dans un batholite de granite plus sombre à grain grossier, affleurant au flanc est du Jbel Ech Chaouene (a, fig. 2).

Le granite à grain grossier a induit un métamorphisme de contact dans les schistes du Jbel Ech Chaouene, attribués au Dévonien (Mac Gaw, 1953). Il forme un massif allongé NNE limité sur son flanc oriental par des accidents qui le séparent d'une couverture mésozoïque, tantôt liasique-jurassique (partie septentrionale), tantôt triasique (partie méridionale). Ces accidents qui ont joué après le Jurassique, ont vraisemblablement été actifs pendant la mise en place du granite hercynien sinon beaucoup plus tôt. En effet, à la latitude d'Aïn Tazgout (A.T., a, fig. 2), l'accident-limite du massif sur son côté oriental, presque méridien, est parallèle à une crête filonienne quartzreuse qui correspond à une faille (Q) recoupant le granite à grain grossier. Cette faille (Q) est jalonnée sur sa lèvre ouest par un petit massif de serpentine (riche en Cr, 2500 ppm, et Ni, environ 1800 ppm), découvert par E. Fauvelet (*in* Snoep, 1960), assimilé en partie par le granite (Ovtracht, 1986) qui en remanie des morceaux préalablement transformés en talc.

(*) 7 rue de Ligny, 55500 Naix-aux-Forges, France

(**) CRPG/CNRS, BP 20, 54501, Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France et E.N.S. Géologie, B.P. 40, 54501, Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France

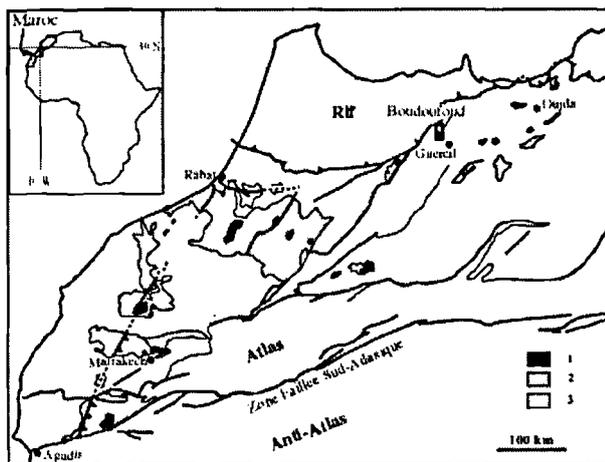


Fig. 1. — Le massif hercynien du Boudoufoud (Maroc septentrional).
1 : plutons hercyniens, 2 : encaissant paléozoïque, 3 : formations post-paléozoïques.

Fig. 1. — The Hercynian massif of Boudoufoud (Northern Morocco).
1: Hercynian intrusives, 2: Paleozoic country-rocks, 3: post-Paleozoic series

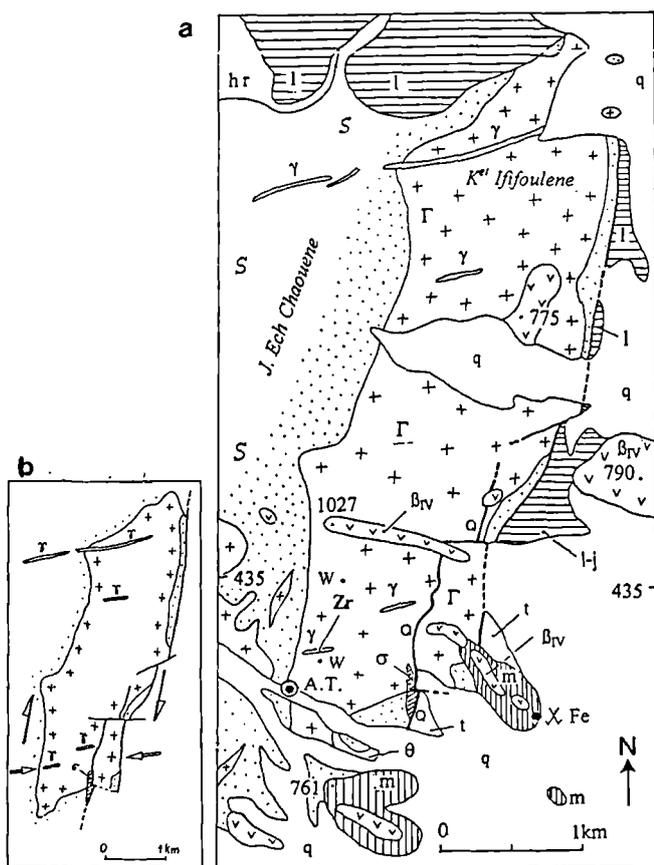


Fig. 2. — a : Le flanc est du massif hercynien du Boudoufoud : Position des filons granitiques porteurs de zircons aciculaires à croissance particulière [Feuilles de Saka et de Merada au 1/50 000].
Terrains de socle. - σ : corps de serpentinite ; S : schistes et phyllades du Paléozoïque, ou du Précambrien (?) d'après Ovtracht (1986) à la bordure est du massif hercynien (θ : zone à corps de dolérites) ; Γ : granites (zones ponctuées au contact : cornéennes de schistes et

Sur sa lèvre orientale, la faille (Q), de pendage est, est marquée par une trentaine de mètres d'épaisseur de brèche tectonique où l'on observe, plus ou moins dans l'ordre en s'en éloignant : cornéennes hercyniennes, argiles rouges du Trias, calcaires dolomitiques attribués au Lias, argiles et marnes verdâtres (Jurassique, Crétacé, Miocène ?) (Snoep, 1960).

Le granite à grain grossier s'est mis en place après la serpentinite puisqu'il l'a partiellement assimilée. Les filons de leucogranite de direction ENE ont pu correspondre à des fentes de tension dans un régime de cisaillement dextre suivant les failles NNE parallèles à l'allongement du batholite (b, fig. 2). La précocité de ces cisaillements par rapport à la solidification du granite expliquerait l'état déformé de ce dernier, en particulier à sa bordure ESE contre la serpentinite où l'on y observe des déformations à l'échelle des cristaux voire de l'échantillon, antérieures à la consolidation du magma ; à l'approche de la serpentinite, c'est presque partout du microgranite, ce qui évoque un phénomène de trempe et, tout contre la serpentinite, ce microgranite s'enrichit en chlorite secondaire tandis que les feldspaths et la biotite disparaissent.

L'installation du massif de serpentinite, probablement une écaïlle tectonique, aurait donc pu s'opérer à la faveur de cisaillements pendant la mise en place du granite. La provenance et l'âge de la serpentinite posent problème : elle pourrait, entre autres hypothèses, représenter les restes d'une roche mafique (Néoprotérozoïque = Précambrien II) vraisemblablement remontée d'une profondeur de plusieurs kilomètres par des accidents qui limitaient vers l'Est, dès le Précambrien, l'emplacement du futur massif du Boudoufoud (Ovtracht, 1986) ; elle pourrait aussi bien correspondre à des

phyllades) ; γ : leucogranite filonien (Zr, zone la plus riche en zircons fusiformes, fig. 3 et Pl. I à IV) ; W : indices filoniens de wolframite (d'après M. Belkasmî, prospecteur au B.R.P.M. comm. orale : 1986) ; hr : terrains permien en discordance sur les précédents. Q : faille marqué par un filon de quartz en relief.

Terrains de couverture. - t : Trias, l : Lias ; j : Jurassique indifférencié ; m : Miocène ; q : Quaternaire (β_{IV} : basaltes).
A.T. : Aïn Tazgout ; Fe : mine de fer dans le Miocène (tache rouge visible depuis la route de Guercif) .

b : Reconstitution des relations entre la mise en place du batholite granitique du Boudoufoud et la tectonique cisailante hercynienne (légende : a, fig. 2). Les demi-flèches indiquent le sens du cisaillement, les flèches désignent la direction de compression maximale.

Fig. 2. — a : The eastern border of the Hercynian massif of Boudoufoud : Situation of the granitic dykes bearing peculiar mineralogical facies of acicular zircons [Sheets of Saka and Merada, 1/50 000].

Basement terrains - σ : serpentinite body ; S : schists and phyllades [Palaeozoic or Precambrian (?) after Ovtracht 1986] at the eastern border of the Hercynian massif (θ : zone with doleritic bodies) ; Γ : granites (dotted zones at the contact : hornfelses of schists and phyllades) ; γ : leucogranite dyke (Zr, tapered zircon richest zone, fig. 3 and Pl. I to IV) ; W : wolframite veins (after M. Belkasmî, prospector from B.R.P.M. oral comm. : 1986) ; hr : Permian terrains in unconformity over the preceding ones. Q : fault underlined by a quartz vein.

Covering terrains - t : Triassic ; l : Liassic ; j : undifferentiated Jurassic ; m : Miocene ; q : Quaternary (β_{IV} : basalts).

A.T. : Aïn Tazgout ; Fe : iron mine in the Miocene (red spot conspicuous from the road of Guercif).

b. — Reconstructed relationships between the emplacement of the granitic Boudoufoud batholith and the Variscan shear tectonics (caption as a, fig. 2). Half-arrows point to the shear sense, arrows indicate the direction of maximal stress.

restes de terrains paléozoïques ou ceux d'une suture océanique hercynienne - précoce. L'irruption de ce type de roches basiques ou ultrabasiqes, ainsi intégrées au bloc hercynien au gré de cisaillements accompagnant la mise en place du granite, qui les a partiellement assimilées, a pu affecter la composition du magma.

Il semble donc que la composition du magma granitique a lentement évolué en même temps que les conditions thermodynamiques de sa cristallisation durant son ascension et celle des roches basiques ou ultrabasiqes remontées avec lui.

II. — LOCALISATION DES FILONS.

Deux de ces filons granitiques contiennent en abondance les zircons fusiformes ; ils sont faciles d'accès au voisinage de l'Aïn Tazgout (a, fig. 2) :

a) à 300 m au NE de la source (point Zr, a, fig 2), filon de 6 à 7 m de puissance en direction ENE, à une dizaine de mètres au Nord, et légèrement en contrebas, du sommet d'un éperon (point γ , fig. 3). Nous y avons trouvé les formes de zircon décrites plus loin (échantillon 1377/2 et 1269/8b : voir coordonnées dans tableau 1, et planches photo) ;

b) à 800 m au NE de la source, filon de 10 m de puissance, de même direction ENE, à une cinquantaine de mètres à l'WNW d'une crête aiguë constituée de granite filonien, elle aussi ENE (échantillon 1378/6a, tableau I). Ce dernier granite contient, lui aussi par places, de ces zircons aciculaires (1378/6b) à croissance particulière.

Un autre filon granitique ENE, à la partie septentrionale du batholite, en contient également en moindre quantité : il forme une arête très en relief (Kst Ififoulène) sur plus d'un kilomètre avec une puissance pouvant excéder 10 m.

III. — NATURE DES GRANITES PORTEURS

Tous ces granites sont à grain assez fin et à tendance leucogranitique ; la muscovite domine souvent sur le mica coloré ou sur la chlorite et la micropegmatite est assez fréquente. Celui de la Koudiet Ififoulène, dans la partie nord du batholite de granite à gros grain, se prolonge vers l'WSW dans les cornéennes : au contact de ces dernières, il passe à du microgranite à grosses andalousites roses mais en son centre, il se greisénise et referme encore, par places, du zircon aciculaire à croissance particulière. Les zircons aciculaires des granites filoniens se rencontrent dans le quartz



Fig. 3. — Filon de microgranite à microcristaux de zircon fusiforme, à 300 m au NE de l'Aïn Tazgout, massif hercynien du Boudoufoud (γ : filon de leucogranite ; A.T. : Aïn Tazgout). Vue orientée vers le SSW. Distance A.T.- γ : environ 300m.

Fig. 3. — Leucogranitic dyke with tapered needles of zircon, 300 m NE of Aïn Tazgout, Boudoufoud Variscan Massif (γ : leucogranitic dyke; A.T. : Aïn Tazgout). Sight towards SSW. Distance A.T.- γ : ca. 300m.

N°	1264/2c	1377/2	1378/6A	1376/5
SiO ₂	72.77	72.45	69.80	65.2
Al ₂ O ₃	14.98	14.98	15.08	16.28
Fe ₂ O ₃	1.77	2.42	2.50	4.72
MnO	0	0	0.03	0.07
MgO	0.44	0.91	0.97	1.87
CaO	0.34	0.2	1.21	1.82
Na ₂ O	2.47	2.22	3.50	3.4
K ₂ O	4.94	4.08	4.69	3.95
TiO ₂	0.32	0.32	0.32	0.68
P ₂ O ₅	0.2	0.16	0.14	0.24
P.F.	1.55	1.98	1.49	1.53
Total	99.78	99.72	99.73	99.76
Ba	288	404	550	587
Rb	203	230	217	93
Sr	23	18	127	181
Th	8	11	14	10
V	19	35	33	67
Zr	108	115	123	175

Tabl. I. — Analyses des granites du massif hercynien du Boudoufoud. Coordonnées des échantillons dans le système Lambert Nord-Maroc : 1264/2c.- Granite de la halde des travaux pour hématite à 300 m à l'ESE d'Aïn Tazgout.

$x = 681,3 - y = 434,2$, feuille au 1/50 000 de Merada.

1377/2.- Leucogranite filonien à zircon fusiforme à 300m au NE d'Aïn Tazgout.

$x = 681,2 - y = 434,5$, feuille au 1/50 000 de Merada.

1378/6a.- Leucogranite filonien à zircon fusiforme à 800 m au NE d'Aïn Tazgout.

$x = 681,7 - y = 434,8$, feuille au 1/50 000 de Saka.

1376/5.- Granite à biotite contre la serpentine, à 800m à l'Est de l'Aïn Tazgout.

$x = 681,85 - y = 434,4$, feuille au 1/50 000 de Merada.

Table 1. — Selected analyses of granites from the Hercynian massif of Boudoufoud.

Lambert North - Morocco coordinates of the samples are:

1264/2c.- Granite from the dump heap of the hematite mine at 300 m ESE of Aïn Tazgout.

$x = 681,3 - y = 434,2$, sheet of Merada 1/50 000.

1377/2.- Dyke of leucogranite with tapered zircon at 300 m NE of Aïn Tazgout.

$x = 681,2 - y = 434,5$, sheet of Merada 1/50 000.

1378/6a.- Dyke of leucogranite with tapered zircon at 800 m NE of Aïn Tazgout.

$x = 681,7 - y = 434,8$, sheet of Saka 1/50 000.

1376/5.- Biotite granite close to the serpentine body, at 800 m East of Aïn Tazgout.

$x = 681,85 - y = 434,4$, sheet of Merada 1/50 000.

surtout, ou dans les feldspaths, et beaucoup plus rarement dans les micas ; ces derniers renferment souvent du rutile avec la macle de la sagénite.

Quant au granite à gros grain encaissant les filons granitiques porteurs, par exemple dans les vieux travaux pour hématite à 300 m à l'ESE de l'Aïn Tazgout, il renferme lui aussi, par places dans le quartz, des faciès aciculaires de zircon apparentés à ceux des filons, et ses micas contiennent

également du rutile en abondance : ces deux caractères pourraient donner à penser que les granites filoniens γ sont une expression tardive du magma à l'origine du granite principal Γ .

Les granites du Boudoufoud analysés au CRPG-CNRS de Nancy par ICP-AES ont des compositions variant de l'adamellite au leucogranite (Tableau I). Le paramètre A : $Al - (K+Na+2Ca/3)$ de Debon et Le Fort (1988) peut atteindre la valeur de 128 (échantillon 1377/2) ce qui pour des roches peu ou pas altérées, comme c'est le cas ici, traduit des compositions de magma nettement peralumineuses.

IV. — DESCRIPTION DES ZIRCONS ACICULAIRES A CROISSANCE PARTICULIERE

Dans les roches ignées, le zircon se présente généralement, tantôt en cristaux trapus, souvent zonés (a, fig. 4), tantôt en aiguilles prismatiques (b, fig. 4) ; ces cristaux ou aiguilles ne sont pas maclés. Dans les leucogranites du Boudoufoud, nous avons rencontré non seulement ces deux types ordinaires de zircon, souvent dans la même lame mince, mais encore d'autres zircons aciculaires de formes ou faciès très particuliers qui font l'objet principal de cette note.

Les zircons les plus anciens sont en cristaux zonés et "corrodés", à nombreuses micro-inclusions (quartz et apatite ?), souvent assez gros mais peu fréquents et parfois garnis de surcroissances aciculaires de zircon limpide (c, fig. 4 ; voir aussi Pl. III, fig. 60 et 61). Les autres, plus récents, sont aciculaires et limpides, non zonés, très fréquents mais minuscules puisqu'en général leur longueur n'excède guère 50 μ m.

Les cristaux aciculaires sont difficiles à observer : leur séparation n'a pu être effectuée en raison de leur fragilité, qui les fait disparaître au cours du broyage des granites tandis qu'au microscope, ils n'occupent le plus souvent, en raison de leur finesse, qu'une partie de l'épaisseur de la lame mince, ce qui empêche de les caractériser par leurs propriétés optiques. Néanmoins, il a été possible de les identifier à la microsonde électronique et au microscope électronique à balayage du service commun d'analyses de l'Université Henri Poincaré (Nancy, analyste J.-M. Claude) ; il s'agit bien d'un silicate de zirconium, et c'est du zircon (seul silicate de zirconium connu jusqu'ici), si ce n'est un minéral nouveau. Vu la petite taille des cristaux et la limitation de nos moyens d'observation, nous nous contenterons de qualifier leurs morphologies d'après les particularités de leurs silhouettes en observation microscopique. Ces zircons se présentent sous au moins trois formes (fig. 4) : prismes banals (b, fig. 4) ; cristaux constitués de prismes coaxiaux diminuant de section du centre vers les extrémités de l'aiguille (d, fig. 4) ; fuseaux (f, fig. 4) montrant aux extrémités un angle au sommet très aigu, généralement inférieur à 10°, parfois munis d'un "manchon" prismatique central (épaisseur maximale 0,01mm) et paraissant ainsi combiner les deux formes précédentes (zircon en "javelot", g, fig. 4). Il arrive qu'un même fuseau se coude en plusieurs tronçons successifs d'orientations différentes, la forme la plus fréquente étant une terminaison "en baïonnette" (h, fig. 4). Qu'il s'agisse de prismes ou de fuseaux, les zircons aciculaires peuvent se rencontrer isolés ou bien groupés par deux (paires en croix, i, fig. 4 ; paires en X, j, fig. 4) ou en faisceaux (k, fig. 4). Ils ne sont pas toujours symétriquement développés par rapport à un centre, mais ils peuvent être dissymétriques :

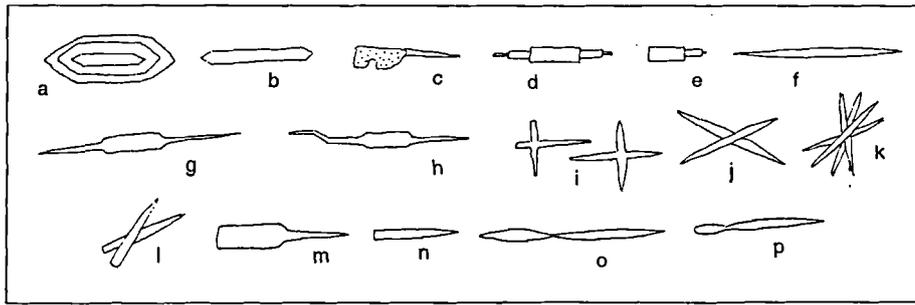


Fig. 4. — Zircons aciculaires à croissance particulière : a : cristal zoné (prisme épais), ou zircon commun ; b : prisme aciculaire banal ; c : aiguille limpide en surcroissance sur du zircon (riche en inclusions) corrodé ancien ; d, e : cristaux en prismes coaxiaux ou "en télescope" ; f : cristal fusiforme simple ; g : cristal fusiforme à manchon ; h : avec terminaisons "en baïonnette" ; i : paires en croix ; j : paire en X ; k : groupement en faisceau ; l : paire "en queues de billard" ; m : cristal "en poinçon" ; n : aiguille de phonographe ; o : cristal fusiforme "en sagaie" ; p : cristal fusiforme "en goupillon". Longueur maximale des aiguilles (b à p) : 50µm

Fig. 4. — Acicular zircons with peculiar growth : (a) zoned crystal (thick prism) ; (b) common acicular prism ; (c) limpid needle grown over corroded earlier inclusion - rich zircon ; (d, e) coaxial prisms or telescope-like crystals ; (f) ordinary tapered crystal ; (g) muffed tapered crystal ; (h) tapered crystal with bayonet-ending ; (i) cross-twinned pair ; (j) X-twinned pair ; (k) bundles of needles ; (l) billiard-cues pair ; (m) pricker ; (n) needle of gramophone ; (o) tapered crystal with assegai-ending ; (p) tapered crystal with aspergillum-ending. Maximal length of the needles (b to p) : 50µm.

paires de demi-fuseaux disposés "en queues de billard" (l, fig. 4) ; prismes coaxiaux "en télescope" (e, fig. 4) ; demi-fuseau à manchon (zircon en "poinçon", m, fig. 4) ou sans manchon (aiguille de phonographe, n, fig. 4). Les fuseaux sont parfois munis, à l'une de leurs extrémités, de surcroissances particulières : zircons "en sagaie" (o, fig. 4) ou "en goupillon" (p, fig. 4) etc., qui pourraient correspondre à des anomalies de croissance encore plus complexes.

V. — ESSAI D'INTERPRÉTATION DES FACIÈS PARTICULIERS DE ZIRCONS ACICULAIRES .

Les assemblages en paires et les groupements en faisceaux d'aiguilles (i à l, fig. 4) correspondent vraisemblablement à des macles, et ce pourrait être également le cas, s'il ne s'agit de déformations (cassures contemporaines de la cristallisation ou plus tardives), des fuseaux coudés (Pl. I, fig. 24 à 34). La fréquence des macles dans le zircon aciculaire constituerait déjà elle-même une anomalie, car habituellement ce minéral, commun dans tous les granites, n'est pas maclé. Nous n'avons trouvé, dans les travaux de Pupin (1976, 1980) sur les zircons, aucune mention de pareils faciès et ces formes "agressives" ne semblent pas avoir déjà été décrites.

Les mécanismes de croissance des aiguilles de zircons ne sont pas encore clairement établis, surtout pour ce qui concerne les variations d'épaisseurs des cristaux depuis le centre vers les extrémités. Quoi qu'il en soit, les faciès

minéralogiques sont inhabituels et nous pouvons imaginer que les rapports d'allongement varient en cours de cristallisation, et toujours dans le même sens (croissant? décroissant? plutôt décroissant d'après Pl. I, fig. 32), tantôt progressivement (zircons fusiformes), tantôt par saccades (zircons "en télescope" et manchons de zircons "en javelot" ou "en poinçon").

Des études plus anciennes que la nôtre, sur des cristaux de zircon beaucoup plus gros que ceux dont il est traité ici, donc faciles à isoler, et de faciès commun, ont pu montrer que, si la température conditionne la forme des prismes (Pupin, 1980, 1985), cette dernière est plus encore tributaire de la composition chimique du magma, qui évolue en cours de cristallisation, et de sa sursaturation en zirconium. Ceci ressort de l'étude des zones de cristallisation successives dans les prismes de zircon (Vavra, 1990 ; Benisek et Finger, 1993).

Malgré l'absence apparente de « zoning » dans nos microcristaux, il nous semble que les variations des rapports d'allongement des zircons aciculaires ont pu être induites par une évolution progressive des conditions thermodynamiques et de la composition chimique du magma granitique au cours de son ascension au contact, notamment, des serpentines.

Remerciements. — Nous sommes reconnaissants envers J.P. Pupin, et surtout J.M. Bertrand ainsi que F. Guillot pour la relecture de notre manuscrit, les conseils et critiques qu'ils nous ont prodigués. Les échantillons et lames minces sont archivés à l'École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy (D. Gasquet).

BIBLIOGRAPHIE

- BENISEK A. & FINGER F. (1993). — Factors controlling the development of prism faces in granites zircons : a microprobe study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 441-451.
- DEBON F. & LE FORT P. (1988). — A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bull. Minéral.*, 111, 493-510.
- MAC GAW W. (1953). — Etude géologique et métallogénique de la boutonnière primaire du Boudoufoud (Maroc septentrional). *Dipl. Et. sup.*, Paris, Lab. Géol. appl. (dir. L. Barrabé), 55 p., 13 pl., 1 carte géol. h.t. éch. approx. 1/35 000 (inédit).
- OVTRACHT A. (1986). — Compte-rendu de mission dans le massif du Boudoufoud (20 juin au 5 septembre 1986). *Rapp. Serv. Et. Gites minér.*, Ministère Mines et Géol., Rabat (inédit).

- PUPIN J.P. (1976). — Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. *Thèse ès Sci.*, Univ. Nice, 394 p.
- PUPIN J.P. (1980). — Zircon et granite petrology. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220.
- PUPIN J.P. (1985). — Magmatic zoning of Hercynian granitoids in France based on zircon typology. *Schweiz Mineral. Petrogr. Mitt.*, 65, 29-56.
- SNOEP J.P. (1960). — Note sur les travaux effectués en 1960 par le BRPM sur les indices de fer et de cuivre de Boudoufoud. Rapp. inédit, *Bur. Rech. Particip. min.*, Rabat, mai, n° 432-321/ga3-01 pièce 11, 10 p. de texte + 7 p. d'annexes et 9 p. de résultats d'analyses par R. Pellet.
- VAVRA G. (1990). — On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 90-99.

EXPLICATIONS DES PLANCHES I à IV.

Microphotographies de quelques faciès particuliers de zircons aciculaires (la longueur des cristaux n'exède pas 0,15mm et leur épaisseur est d'environ 0,01mm) ;

Microphotographies of some peculiar facies of tapered zircons (the length of the crystals doesn't exceed 0,15mm and their thickness is about 0,01mm)

PLANCHE. I.

Fig. 1 à 34 - Zircons fusiformes simples.

Certains d'entre eux sont de formes capricieuses (fig. 18 à 24, voir aussi Pl. IV, fig. 82) paraissant provoquées par des irrégularités de croissance. D'autres sont coudés en tronçons successifs d'orientations différentes (fig. 24 à 34 ; voir aussi h, fig. 4, avec terminaisons "en baïonnette"). Il existe peut-être des faciès métamictes (fig. 13) ; leur coexistence avec des faciès non-métamictes dans une même lame mince tend à confirmer que le développement des cristaux est antérieur à la solidification du magma. Certains fuseaux montrent un amincissement ventral (fig. 9 à 12), ou bien n'existent que pour moitié (fig. 13 à 17). L'une de ces "moitiés" de fuseau (fig. 17) a l'aspect d'une carotte à laquelle manquerait, par places (au sommet, ainsi que près de l'extrémité), la partie corticale.

Fig. 1 to 34 - - Simple tapered zircons.

Some of them are capriciously shaped (fig. 18 to 24, see also Pl. IV, fig. 82) probably by irregularities of growth. Other ones are cranked into sections of alternatively different orientations (fig. 24 to 34 ; see also h, fig. 4, with bayonet-ending). Some facies could be metamictic (fig. 13) ; their coexistence with no-metamictic facies in the same thin section suggests that the acicular crystals formed prior to the magma consolidation. Some tapers show a central thinning (fig. 9 to 12), or cut in half (fig. 13 to 17). One of these half-tapers (fig. 17) looks like a carrot whose cortical part is lacking by places, at its top and near its tip.

PLANCHE II

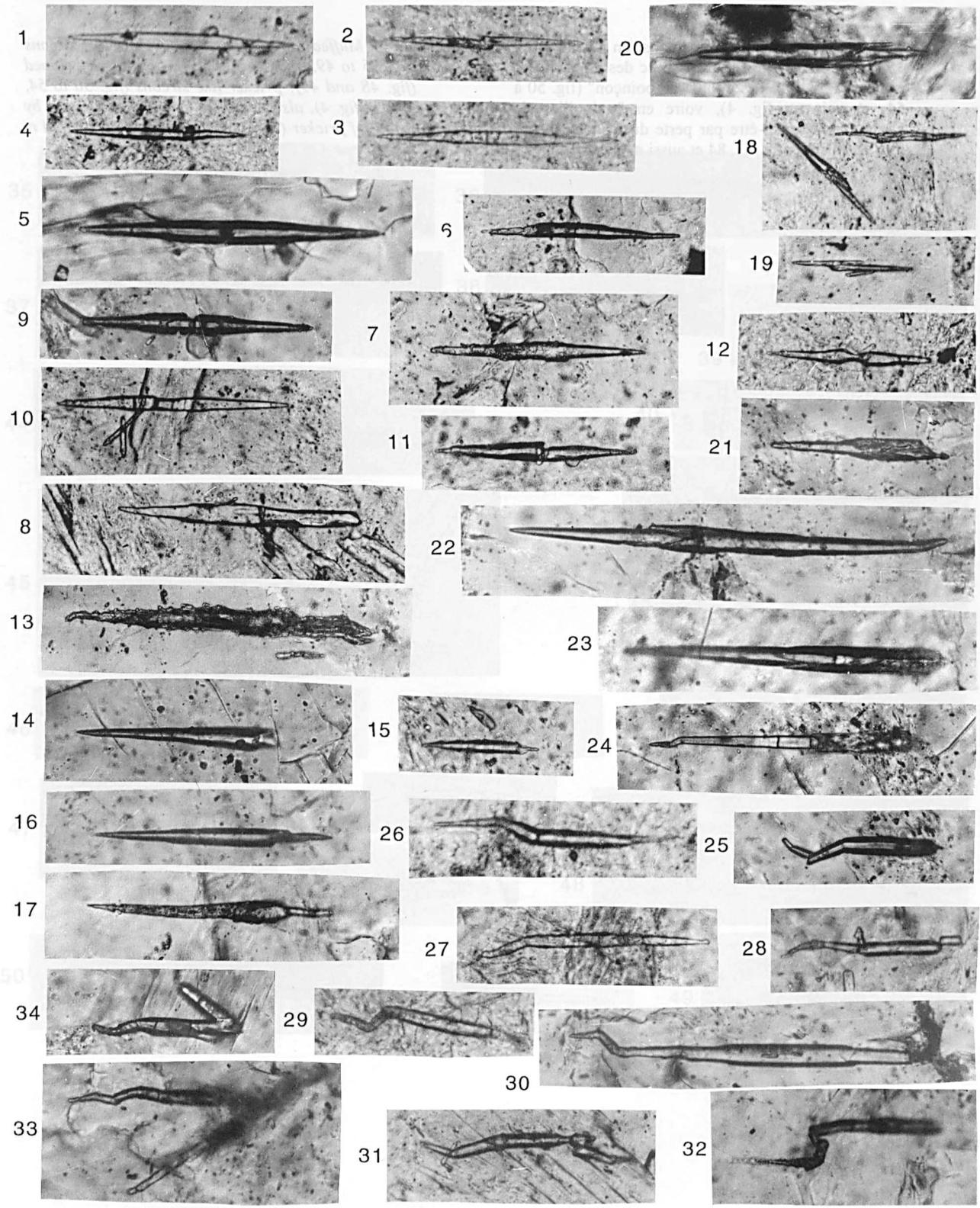


PLANCHE. II.

Fig. 35 à 54 - Zircons "à manchon" : zircons "en javelot" (fig. 35 à 49, voir g, fig. 4) parfois avec des associations en X (fig. 48 et 49) ; zircons "en poinçon" (fig. 50 à 54, et voir m, fig. 4), voire en "aiguilles de phonographe" peut-être par perte du manchon (voir plus loin Pl. IV, fig. 83, 84 et aussi n, fig. 4).

Fig. 35 to 54 - Muffed tapered zircons: javeling-like zircons (fig. 35 to 49, and see g, fig. 4), possibly X-twinning (fig. 48 and 49); pricker-like zircons (fig. 50 to 54, and m, fig. 4), also needle of gramophone maybe by losing of pricker (see later Pl. IV, fig. 83, 84 and n, fig. 4).

PLANCHE III

Fig. 22 à 72 - Tubons en prismes coaxiaux et autres tubons
associés de formes particulières.
On distingue : des tubons en prismes coaxiaux ou
"en télescope" (fig. 22 à 29, voir aussi terminaisons
"en télescope" (fig. 22 à 29, voir aussi terminaisons
"en télescope" (fig. 22 à 29, voir aussi terminaisons
"en télescope" (fig. 22 à 29, voir aussi terminaisons

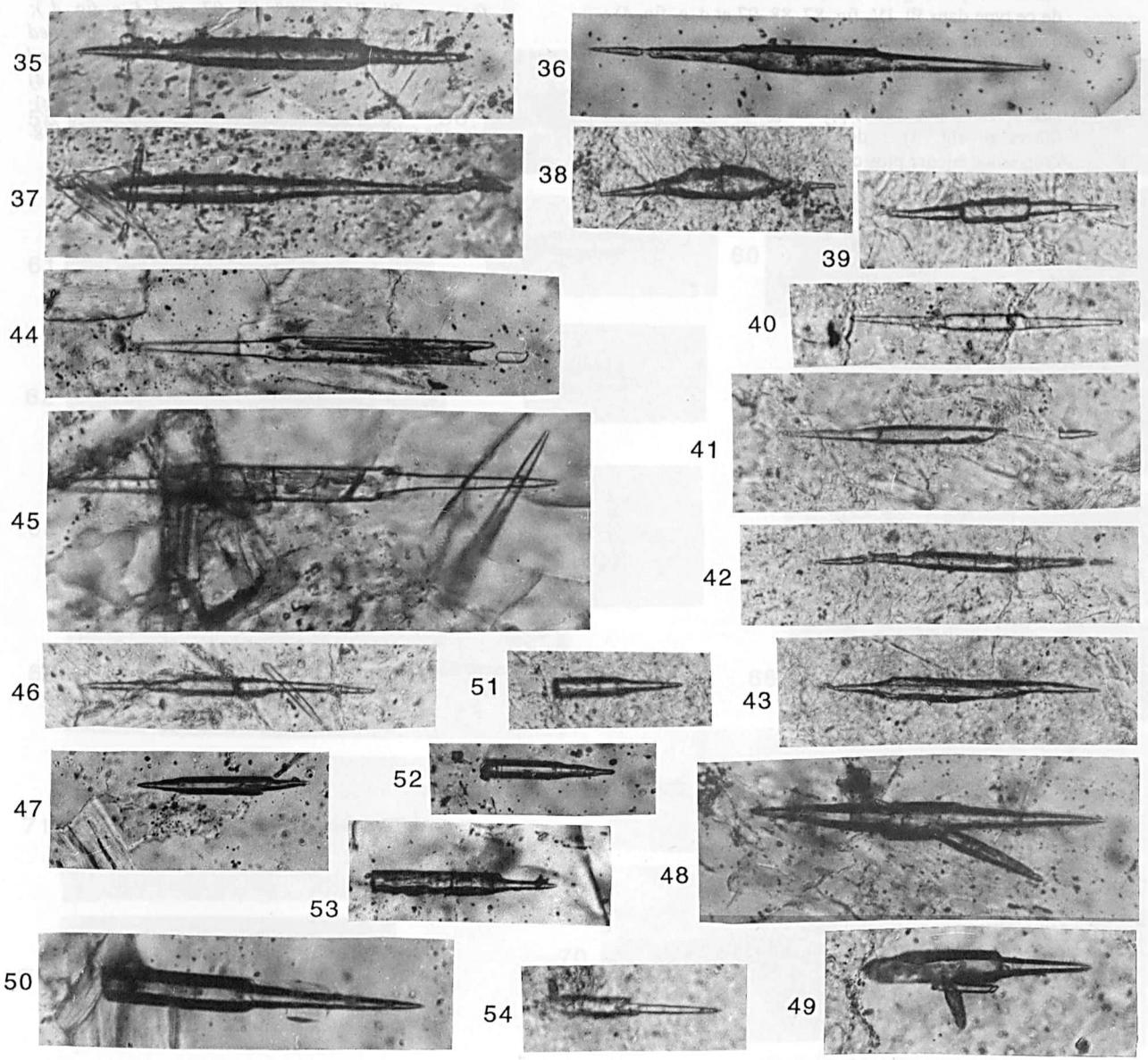


PLANCHE. III.

Fig. 55 à 72. - Zircons en prismes coaxiaux et autres zircons aciculaires de formes particulières.

On distingue : des zircons en prismes coaxiaux ou "en télescope" (fig. 55 à 59, voir aussi réminiscences de ce type dans Pl. IV, fig. 87, 88, 97 et d, e, fig. 4) ; des zircons aciculaires en surcroissance limpide sur un zircon corrodé, plus ancien riche en inclusions (fig. 60 à 64) ; des zircons fusiformes "en sagaie" (fig. 65, 66 et o, fig. 4) ou "en goupillon" (fig. 67 à 70 et p, fig. 4) ; des zircons à anomalies de croissance encore plus complexes (fig. 71, 72).

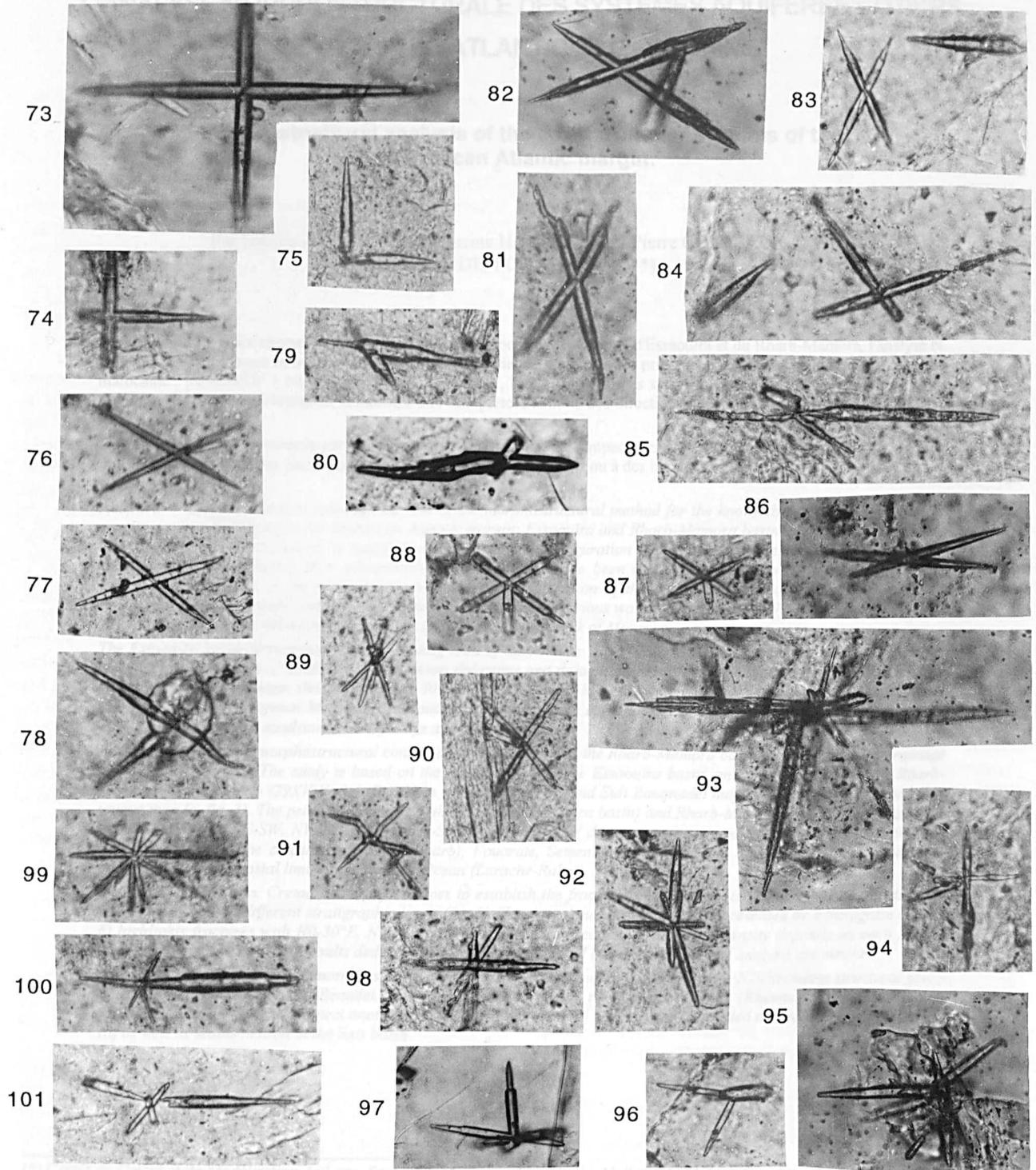
Fig. 55 to 72. - Coaxial prisms or other peculiar acicular forms.

We distinguish: coaxial prisms or telescope-like zircons (fig. 55 to 59, see also recollection of these facies in Pl. IV, fig. 87, 88, 97, and d, e, fig. 4) ; limpid acicular zircons grown over corroded inclusions-rich older zircon (fig. 60 to 64); tapered zircons with assegai-ending (fig. 65, 66 and o, fig. 4) or aspergillum-ending (fig. 67 to 70 and p, fig. 4); zircons with more complex anomalies of growth (fig. 71, 72).

PLANCHE. IV.

Fig. 73 à 101 - Associations (macles ?) de zircons aciculaires (prismatiques ou fusiformes) : par paires en croix (fig. 73 à 75) ; par paires en X (fig. 76 à 86, et voir aussi Pl. I, fig. 33 et 34, peut-être également Pl. II, fig. 48 et 49 ainsi que Pl. III, fig. 65) ; en faisceaux (fig. 87 à 101).

Fig. 73 to 101 - Associations (twinning ?) of acicular (prismatic or tapered) zircons: in cross-twinning pairs (fig. 73 to 75) ; in X-twinning pairs (fig. 76 to 86, and see also Pl. I, fig. 33 and 34, maybe also Pl. II, fig. 48, 49 and also Pl. III, fig. 65) ; in bundles (fig. 87 to 101).



L'ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE DES SYSTEMES AQUIFERES COTIERS DE LA MARGE ATLANTIQUE MAROCAINE.

Morphostructural analysis of the coastal aquifer systems of the Moroccan Atlantic margin.

Par Lahcen ZOUHRI (*), Lahoucine HANICH (**), J.Pierre COLBEAUX (***)
et Benoit DEFFONTAINES (****).

Résumé. — Dans deux régions de la marge atlantique marocaine : les bassins d'Essaouira et du Rharb-Mamora, l'analyse et l'interprétation du réseau hydrographique et de ses anomalies font ressortir les principales directions qui affectent la marge marocaine : (NNE-SSW à NE-SW, NNW-SSE à NW-SE, N-S et E-W). Elles sont également identifiées dans les profils sismiques les coupes géologiques, et peuvent être interprétées comme des directions structurales traduisant une tectonique récente.

C'est une structuration marquée par la présence d'une succession de compartiments ou blocs tectoniques, délimités par des failles. Ces compartiments correspondent respectivement à des grabens ou à des horsts.

Abstract. — This contribution indicates the role of the morphostructural method for the knowledge of two heterogeneous aquifer systems, belonging to the Moroccan Atlantic margin: Essaouira and Rharb-Mamora basins. The research of areas with abundant water resources, is based on the geometrical configuration of the aquifer systems. The analysis of the drainage patterns including their perturbations and anomalies have been used in order to reveal the presence of the structural features due to the neotectonic processes. The combination of the analysis of drainage patterns, geological surveys (geological sections and fracturation measurements) and previous work (Deffontaines, 1992, Ait Brahim & Chotin, 1989), allow to replace the neotectonics faults in the global framework of Morocco.

The Essaouira basin corresponds to the subsiding area of the Atlantic Atlas (a, fig. 1). It is characterized by a Cretaceous multilayered aquifer. It is constituted by Senonian dolomites and dolomitic limestones, Turonian limestones (fissured and karstified) and Cenomanian shelly limestones. Rharb-Mamora basin (b, fig. 1) which located between the Rif Cordillera in the North and the Hercynian Meseta in the South. Its aquifer system is monolayered and constituted by Plio-Quaternary formations (limestones, sandstones, sandy clays and conglomerates).

In order to analyze the morphostructural context of the Essaouira and the Rharb-Mamora basins, we realized two drainage network maps (fig. 2). The study is based on the Meskela Map in the Essaouira basin, and on three maps in the Rharb-Mamora: Mamora map (29XVIII, 2a), Ben Hsin map (29XVIII-2b) and Sidi Bouqnadel map (29XVIII-16) regrouped in a unique map (a, fig. 3). The principal features in the Meskela (Essaouira basin) and Rharb-Mamora are oriented according to four directions: NE-SW, NW-SE, E-W and N-S. The major NE-SW directions correspond to the principal directions of the Sebou river (in the coastal zone of the Rharb), Fouarate, Semento, Tiflete, Tourirza, and Tahrest rivers. That also corresponds to the coastal limit of the Atlantic Ocean (Larache-Rabat).

In the Essaouira basin, Cretaceous aquifer allows to establish the fracturing measurements. It is based on nine stations, which are located in different stratigraphic levels (fig. 5). The directional distribution (%) presented by a histogram (figure 6) highlights fractures with N0-30°E, N30-60°E, N90°E, N160°E directions. Fracturing density depends on each station location near the great fault. Results deduced of fracturing method and by morphostructural analysis are similar.

NE-SW fault: In the Rharb-Mamora basin, NE-SW directions faults could be related to the N70° trending structural faults that affect the Villafranchian (Beaudet, 1969); the faults bordering the Khemisset basin (Khemisset-Taounate-Boured: KTB) extend northwards to connect another set (Meknes-Tissa-Aknoul) which has a controlled neotectonic evolution in the Rif as well as sedimentation in the Saïs basin.

(*) Centre de Calcul et de Modélisation de Lens. Faculté des Sciences Jean Perrin, Université d'Artois, Rue Jean Souvraz, BP 18. 62307 LENS cedex. ✉lahcen.zouhri@univ-artois.fr

(**) FST, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Av. A. Khattabi, BP. 618. 40000 Marrakech (Maroc). ✉hanich@fstg-marrakech.ac.ma

(***) Université de Lille 1, UFR Sciences de la Terre, 59655, VILLENEUVE D'ASCQ cedex.

(****) Laboratoire de Géomorphologie et Environnement littoral. Ecole Pratique des Haute Etudes. UMR 8586 CNRS PRODIG. 15, boulevard de la Mer - 35800 DINARD (France).

NW-SE fault: 120-140°E trending faults parallel to Sebou River having a recent activity, occur in the Middle Atlas. They affect the Mio-Pliocene continental and lagoonal-marine formations (Aït Brahim & Rozanov, 1986).

Meridian fault: it is probably inherited from Hercynian structures that control the structuration of the Paleozoic basement [K2SFZ: Kenitra-Sidi Slimane faulting Zone (Zouhri et al., 2001)], and that replay during the alpine evolution of the Atlas (Laville, 1985) and have been reactivated many times.

N-S fault: deduced from drainage network patterns of the Rharb-Mamora (eastern area, Sebou and Bouregreg Rivers) and Essaouira Basin (northern Bouabout and western Korimat) should be considered as recent activity faults. This group has affected the greatest northern part of Morocco: they connect the transverse horsts and graben which affect the sediments located between the Rif and Marrakech (Deffontaines et al., 1992). The Azila fault which has been active since the late Miocene, borders the subsident basin of the Rharb.

The neotectonic patterns identified in this part of the Moroccan margin, and recent activity of the four families of faults could be explained in terms of tectonical stress due to the convergence of Africa and Spain, and to the sliding of the Pre-Rifean nappes.

I. — INTRODUCTION

Les concepts et les méthodes morphostructurales ont beaucoup évolué et accompagnent de classifications descriptives (Howard, 1967) et génétiques (Deffontaines et Chorowicz, 1991) du réseau hydrographique. Les méthodes morphométriques (Aït Brahim et Chotin, 1989, Deffontaines *et al.*, 1992) ont été appliquées pour identifier les différentes familles de failles récentes, quand l'activité néotectonique difficile à déceler, faute d'observation directe sur le terrain. Dans cette note, nous montrerons l'apport de l'analyse morphostructurale à la compréhension de la structure des aquifères côtiers de la marge atlantique marocaine. Celle-ci a fait l'objet de plusieurs travaux (Andrieux, 1968; Arthaud & Matte, 1977; Jacobshagen, 1992). Elle occupe au Maroc, une place d'ordre économique très importante, notamment en matière de ressources souterraines. L'eau constitue pour le Maroc l'élément primordial qui contribuera à son développement, car son économie est basée essentiellement sur l'agriculture. Suite à plusieurs années de sécheresse les besoins en eaux sont en constante augmentation, d'où la nécessité d'aller chercher de l'eau dans les aquifères souterrains afin de se mettre à l'abri des aléas climatiques. La configuration géométrique des aquifères constitue un élément majeur dans la recherche des endroits favorables à l'exploitation hydrogéologique. Cette définition structurale ne peut se faire qu'à partir d'un ensemble d'éléments méthodologiques, de laboratoire et de terrain. L'absence ou la rareté des affleurements rend, dans certains cas, l'identification des structures très difficiles. Le présent article expose les résultats d'une action intégrée franco-marocaine. Il examine en détail le rôle de la morphostructure dans la compréhension structurale de deux aquifères hétérogènes à structures complexes et différentes, appartenant à la côte atlantique marocaine : le bassin d'Essaouira et le bassin du Rharb-Mamora. Nous replacerons les failles néotectoniques déduites de cette analyse morphostructurale dans un cadre global à l'échelle du Maroc en se basant sur les travaux antérieurs de Deffontaines *et al.*, (1992), Aït Brahim & Chotin (1989).

II. — CADRE GEOLOGIQUE

Le bassin d'Essaouira, zone la plus subsidente de l'atlas Atlantique (a, fig. 1) est caractérisé par une succession de vastes synclinaux à fond plats et d'anticlinaux longs et étroits (Souid, 1983) qui affectent les terrains mésozoïques et cénozoïques. Leur amplitude est kilométrique et leur géométrie généralement dissymétrique. Deux directions

axiales principales prédominent : i) des plis de direction axiale N20°E à N30°E engendrés par le diapirisme d'âge tithonique (Taj Eddine, 1991), puis accentués lors de l'orogénèse Atlasique; ii) des plis de direction axiale Est-Ouest dont l'exemple le plus représentatif est celui de Jbel Amsittène. Ces plis sont essentiellement engendrés par un rejeu inverse de failles du socle, lors de l'orogénèse Atlasique (Souid, 1983).

L'interférence de ces deux directions de plissements confère au bassin d'Essaouira une géométrie en dômes et cuvettes. Dans cette région l'aquifère le plus important est celui des formations crétacées, qui constitue un système multicouche. Il regroupe les calcaires dolomitiques et dolomies du Sénonien, les calcaires fissurés et karstifiés du Turonien et les calcaires lumachelliques et marnes du Cénomaniens. La base de ce système est formée par les calcaires dolomitiques massifs du Vraconien.

Le bassin Rharb-Mamora (b, fig. 1), situé entre deux domaines structuraux fondamentaux : le Rif au Nord à structure alpine très complexe et instable, et la Méséta hercynienne au Sud, au comportement stable et rigide. Les terrains paléozoïques, dont des granites datés de 430 ± 2 Ma (Piqué, 1982), affleurent au Sud de la Mamora à proximité de Tiflète. Les formations mio-pliocènes, du fond des vallées, comportent des marnes bleues, et représentent le substratum hydrogéologique de l'aquifère de la Mamora. Ce dernier est constitué essentiellement de dépôts plio-quatenaire (calcaires, grès, sables, sables argileux et argiles). Contrairement au bassin d'Essaouira, les affleurements sont très rares voire absents dans ce secteur.

III. — L'ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE

L'observation de la forme des reliefs et l'organisation du réseau hydrographique (architecture, structure et direction) sont les principaux éléments morphostructuraux qui permettent d'avoir les informations nécessaires sur la nature et les structures des terrains, dans les régions où les affleurements font défaut. Des corrélations sont possibles entre les données morphologiques et les structures géologiques (Colbeaux & Sommé, 1985; Deffontaines & Chorowicz, 1988; Deffontaines *et al.*, 1992).

Nous examinerons les éléments morphostructuraux pour identifier les différentes structures faillées qui affectent les formations récentes appartenant à ces deux aquifères. Ces structures feront l'objet d'une comparaison avec les résultats issus des méthodes de la géologie appliquée.

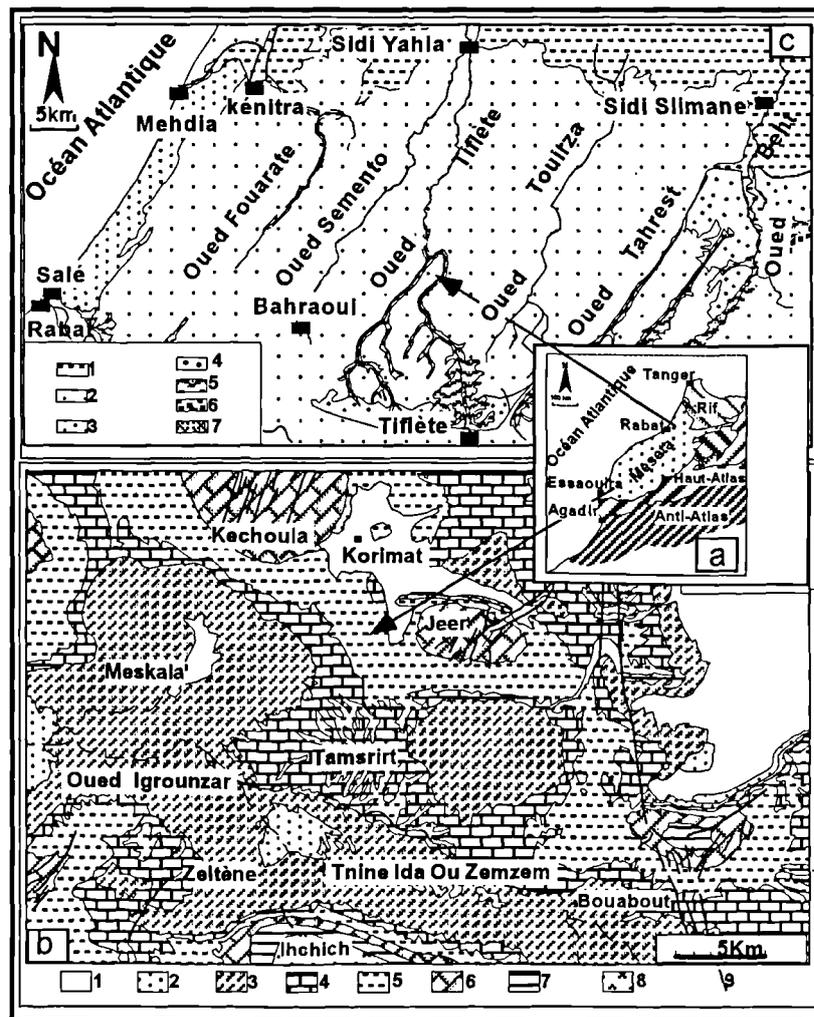


Fig. 1 ; — a : Localisation (a) et cartes géologiques des deux bassins: Essaouira (b) et Rharb-Mamora (c).
 b : Carte géologique du secteur de Meskala. 1 : Quaternaire ; 2 : Eocène ; 3 : Sénonien ; 4 : Turonien ; 5 : Cénomannien ; 6 : Vraconien ; 7 : Crétacé inférieur ; 8 : Jurassique ; 9 : failles.
 c : Géologie de la Mamora. 1. Alluvions (Quaternaire récent), 2. Sables de la Mamora (Quaternaire récent), 3. Formations marines et dunaires (Quaternaire moyen et récent), 4. Cailloutis (Villafranchien), 5. Marnes (Mio-pliocène), 6. Formations pré-rifaines, 7. Paléozoïque.

Fig. 1 ; — a : Localisation (a) and geological map of the two basins : Essaouira (b) and Rharb-Mamora (c).
 b : Geological map of Meskala area 1. Quaternary ; 2. Eocene ; 3. Senonian ; 4. Turonian ; 5. Cenomanian ; 6. Vraconian ; 7. Lower Cretaceous ; 8. Jurassic ; 9. Faults.
 c : Geological map of the Mamora. 1. Alluvial deposits (Upper Quaternary) ; 2. Mamora Sandstone (Upper Quaternary) ; 3. Marine and beach dune deposits (Middle to Upper Quaternary) ; 4. Gravels (Villafranchien) ; 5. Marls (Mio-Pliocene) ; 6. Pre-rifian formation ; 7. Paleozoic.

1) Région d'Essaouira

L'examen du tracé des thalwegs permet de détecter les anomalies et les perturbations du drainage, qui sont interprétées comme des indices du réglage structural du réseau hydrographique (Deffontaines *et al.*, 1992). Dans le secteur de Meskala, ce réseau est très développé avec des changements directionnels des thalwegs (a, b, fig. 2). Nous avons réalisé une carte montrant les principaux linéaments: ils sont orientés suivant quatre directions principales (b, fig. 3), NE-SW, NW-SE, E-W et N-S. Elles correspondent exactement aussi aux directions de la fracturation relevée sur le terrain. Une relation, évidente a priori, existe donc entre la tectonique cassante et l'allure du réseau hydrographique. L'existence de ces accidents expliquerait donc bien le tracé en baïonnette des

différents oueds tel que l'oued Igrounzard. Dans le cadre d'un recensement des failles à jeu récent sur l'ensemble du Maroc, Deffontaines *et al.* (1992), recensent ces mêmes familles directionnelles.

2) Région de la Mamora

L'analyse morphostructurale est basée sur l'interprétation des trois cartes topographiques à 1/50.000e : i) Carte de la Mamora (Feuille 29-XVIII-2a) ; ii) Carte de Ben Hsin (Feuille 29-XVIII-2b), iii) Carte de Sidi Bouqnadel (Feuille 29-XVIII-16), regroupées ici en une seule carte (a, fig. 3).

Le réseau hydrographique est très développé dans la Mamora, et présente quelques anomalies qui se caractérisent

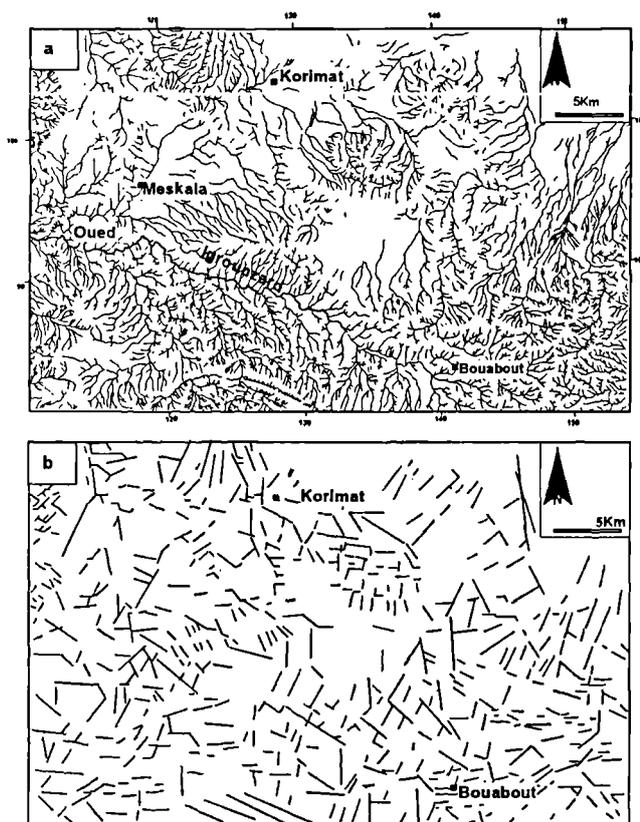


Fig. 2. — a : Carte du réseau hydrographique du bassin d'Essaouira.
b : Carte des linéaments majeurs déduits de l'analyse du réseau hydrographique.

Fig. 2. — a : Hydrographic map of Essaouira basin.
b : Map of the major lineaments deduced from the analysis of the river system.

par des chargements brutaux dans les directions de thalwegs, et qui peuvent atteindre 90°. Les mêmes directions identifiées dans le bassin d'Essaouira, ressortent ici selon deux directions majeures : NE-SW (N30-50°E), et NW-SE (N140-150°) (Zouhri *et al.*, 1998) (b, fig. 3). Les deux autres directions, N-S et E-W, sont moins fréquentes.

Nous avons étendu notre étude morphostructurale sur tout le bassin Rharb-Mamora. Le réseau hydrographique, relativement développé, montre les quatre directions principale en question : NE-SW (N030-050°E), NW-SE (N140-150°E), N-S et E-W. La première bien développée dans l'ensemble du bassin, correspond à la direction principale des oueds. Elle représente celle de Oued Sebou, dans la portion côtière du Rharb, au Nord de Kénitra, et celle des Oueds Fouarate, Semento, Tiflète, Tourirza et Tahrest à l'Est de la Mamora. C'est également celle de la limite côtière de l'Océan Atlantique, de Rabat à Larache.

La seconde, est par contre prépondérante aussi bien :

- au Sud, du bassin, c'est la direction moyenne des Oueds Bou-Regreg Sebou, et de plusieurs Oueds, où elle présente presque un angle de 90° avec la première direction ;
- au Nord, où elle correspond à la direction moyenne des Oueds Beht et Sebou.

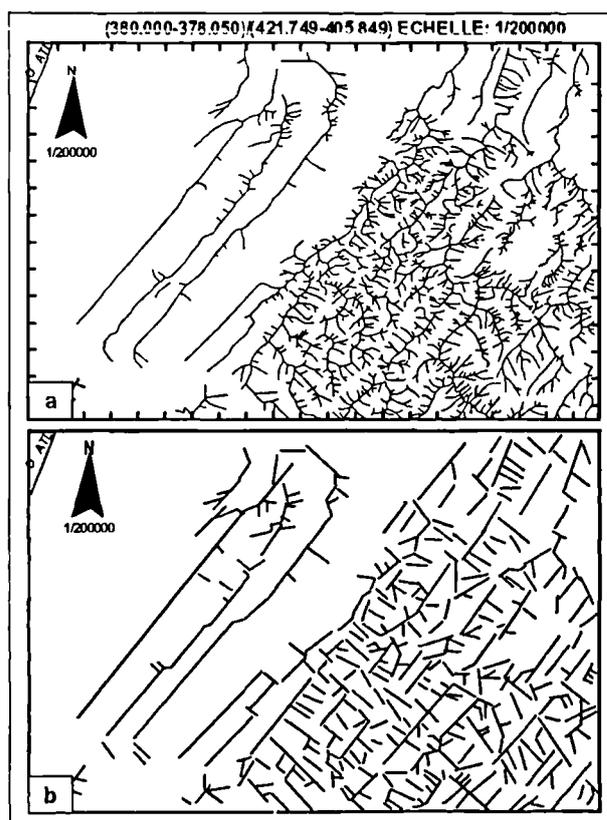


Fig. 3. — a : Carte du réseau hydrographique du bassin de la Mamora.
b : Carte des linéaments majeurs déduits de l'analyse du réseau hydrographique.

Fig. 3. — a : Hydrographic map of the Mamora basin.
b : Map of the major lineaments deduced from the analysis of the river system.

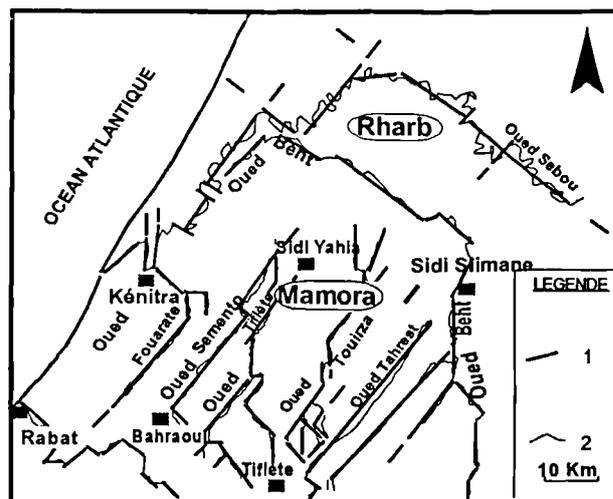


Fig. 4. — Réseau hydrographique et principales directions structurales du bassin Rharb-Mamora. 1. Directions structurales, 2. Réseaux hydrographiques.

Fig. 4. — Hydrographic network and the principal structural directions of Rharb-Mamora basin. 1. Structural directions, 2. Hydrographic networks.

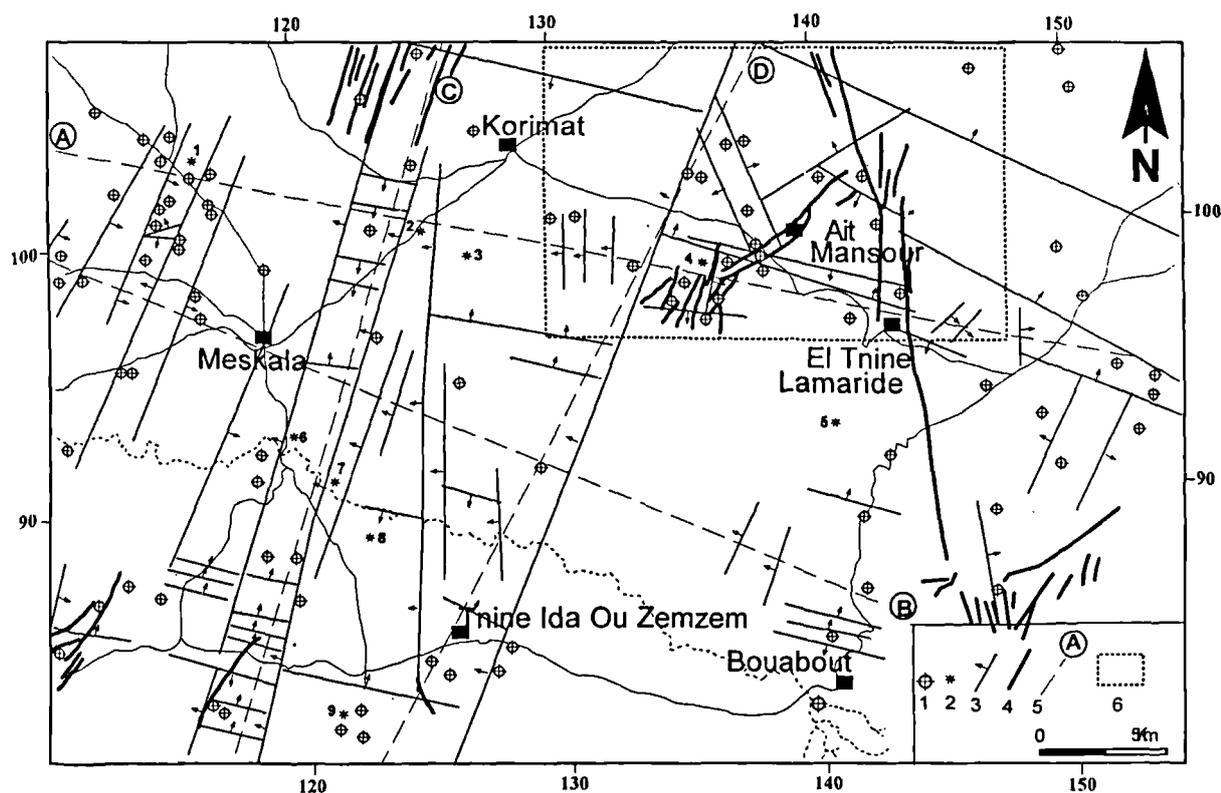


Fig. 5. — Carte structurale établie à partir des données de sondages. 1 : Emplacement de sondage ; 2 : Station de mesure de la fracturation ; 3 : Faille déduite de l'interprétation des données de sondage ; 4 : Faille observée ; 5 : Trait de coupe ; 6 : Secteur de Korimat.

Fig. 5. — Structural map established to leave the wells data. 1 : Drillings location, 2 : Station of the fracturations measurements, 3 : faults deduced by the drilling data interpretation, 4 : Faults observed, 5 : geological sections, 6 : Morimat sector.

La direction N-S est bien individualisée le long de l'Oued Beht jusqu'à la ville de Sidi Slimane (fig. 4), en revanche la direction méridienne est très peu représentée dans le Rharb-Mamora et se manifeste le long de l'axe qui rejoint Kénitra-Sidi-Yahia. Cette dernière a été identifiée par plusieurs auteurs, notamment dans le Moyen et le Haut-Atlas, et dans le Rif (Deffontaines *et al.*, 1992; Ait Brahim & Chotin, 1989).

Ces directions sont-elles la conséquence d'un jeu des structures hercyniennes qui affectent le secteur, ou des structures néotectoniques ? Les études de Jacobshagen (1992) ont montré que les familles directionnelles des différentes fractures dominantes au Maroc sont N35-45°E et N70-90°E. Des structures hercyniennes (Faugères, 1981) qui se traduisaient par le jeu de failles de direction N45°E, ont été identifiées à l'Est de la Mamora notamment, vers sa bordure orientale (Oued Beht). Seules les études géologiques (corrélations stratigraphiques, coupes, géologiques, et sismiques, *etc*) peuvent apporter des éléments supplémentaires.

IV. — RELATION ENTRE LA MORPHOSTRUCTURE ET LA STRUCTURE GEOLOGIQUE

1) Fracturation

Le secteur de Meskala se distingue du bassin Rharb-Mamora par ses affleurements recoupés par des failles

kilométriques. Un levé de fracturation a été réalisé, ce qui permet de vérifier la présence de grandes failles reconnues, de déterminer la distribution directionnelle des fractures et d'évaluer le poids relatif de chaque famille d'orientation. Pour obtenir des résultats significatifs, neuf stations de mesure situées dans des niveaux stratigraphiques différents ont été prises en compte (fig. 5). La répartition directionnelle (en %) est présentée sous forme d'histogrammes (fig. 6). Ainsi, sur l'ensemble du domaine l'essentiel des fractures montrent des directions N0-30°E ; N30-60°E ; N90°E ; N130°E et N160°E. La densité de la fracturation dépend de la position de chaque station par rapport aux grandes failles. Une grande similitude existe entre les directions déduites de l'analyse morphostructurale, des failles principales observées dans toute la région et celles déduites à partir des corrélations lithostratigraphiques. Cependant, pour une même direction de fractures le jeu (dextre ou senestre) n'est pas le même d'une station à une autre, ce qui montre la superposition de plusieurs phases tectoniques ayant affecté la région.

2) Coupes géologiques

Pour consolider les mesures de la fracturation, et pour bien comprendre l'apport de l'analyse morphostructurale, nous avons fait appel aux résultats des corrélations lithostratigraphiques et de la sismique-réflexion (Zouhri *et al.*, 2001). Les coupes géologiques, qui ont été réalisées dans le but de comprendre la structure et la géométrie des aquifères de ces deux régions, mettent en lumière l'étroite relation qui

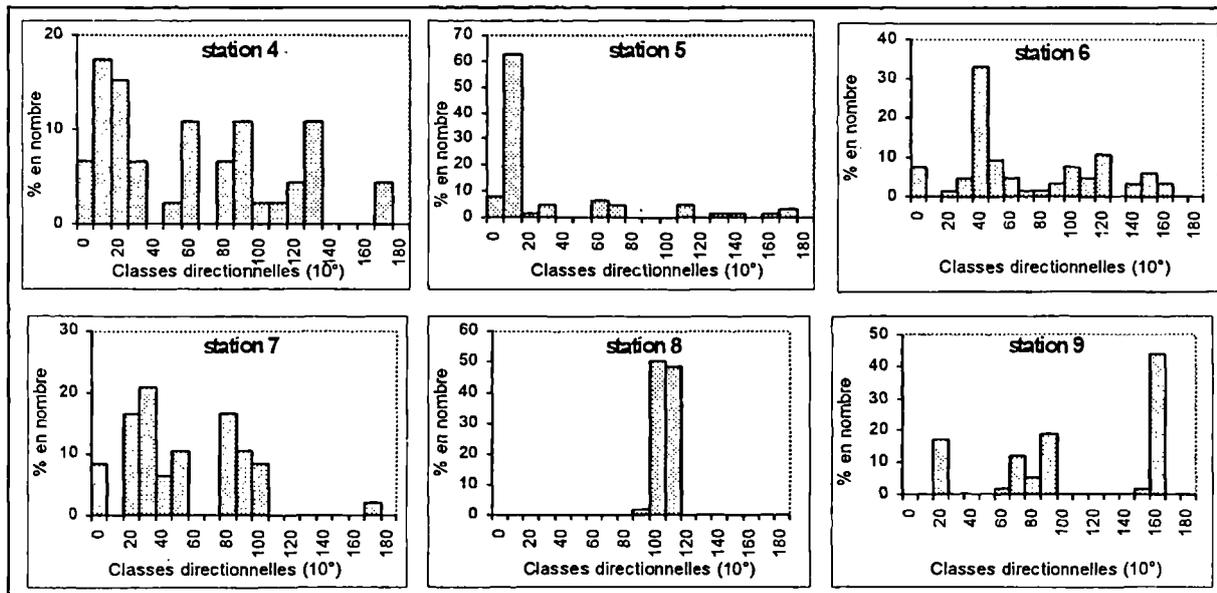


Fig. 6. — Histogramme (%) du nombre du linéaments (Bassin d'Essauira) .

Fig. 6. — Histogram (%) of the lineament number (Essauira basin).

existe entre les directions morphostructurales et les structures failées affectant les formations récentes. Dans la région d'Essauira, la coupe (a, fig. 7) montre que les séries crétacées (Aptien-Hauterivien, Albien, Vraconien) sont découpées par de nombreuses failles NNE-SSW à NE-SW et NNW-SSE. Le basculement des blocs vers l'Ouest donne naissance à la cuvette de Meskala, et vers l'Est, à la cuvette de Tnine Lamaride et d'Ouled Moumen. Ces deux dernières sont séparées par la grande faille de Sidi Amara de direction NNW-SSE.

L'autre coupe (b, fig. 7), réalisée dans la région de la Mamora côtière, révèle la même structuration, avec des failles normales (NE-SW et NW-SE) qui affectent les formations mio-plio-quadernaires, entraînant un découpage en horsts et grabens, et un épaissement des séries vers le Rharb et vers l'Océan Atlantique. La variation latérale des faciès plio-quadernaires et de leurs épaisseurs sont sous le contrôle tectonique des structures de directions NW-SE et NE-SW (Zouhri *et al.*, 1998). Des études récentes (Zouhri *et al.*, 2001) ont contribué à replacer le bassin Rharb-Mamora dans un cadre géodynamique global. Ces structures majeures hercyniennes qui ont rejoué à de multiples reprises (RK : Rabat-Kénitra qui se présente sous forme d'un faisceau de failles N30°E ; K2S : Kénitra-Sidi Slimane, N120°E), ont été raccordées respectivement à l'accident Rabat-Agadir (Piqué *et al.*, 1980) et Rabat-Tiflet (Piqué, 1982).

V. — DISCUSSION ET CONCLUSION

Les deux régions étudiées de la marge atlantique marocaine se caractérisent par un réseau hydrographique bien développé permettant de faire ressortir les structures néotectoniques. Il est régi par les directions structurales NE-SW (allant de N030-050°E à N070°), NW-SE, N-S et E-W.

Les failles de direction NE-SW pourraient être rattachées aux groupes N070°E qui affectent le Villafranchien (Beudet, 1969), et au système de failles Khemisset-Taouate-Boured : KTB qui rejoint au Nord du Maroc un autre groupe de faille qui a contrôlé la sédimentation et l'évolution néotectonique dans le Rif et dans le bassin du Saïs (Meknès-Tissa-Aknoul) (fig. 8). En revanche la famille d'accidents, qui est presque N°040, a affecté le Villafranchien de la région d'Azrou (à l'Est de la Méséta). En outre, celles-ci ont déjà été identifiées dans le Moyen-Atlas et ont influencé l'évolution tectonique et sédimentaire de la région durant l'orogénèse Alpine (Fedan, 1988). Elles ont également structuré le Mio-Pliocène continental le long de la Faille Tizi n' Test (fig. 8).

Le groupe de failles NW-SE comporte des accidents N120-140°E ayant une activité récente dans le Moyen-Atlas, où elles ont influencé le Mio-pliocène continental lagunaire (Aït Brahim & Rozanov, 1986). Il pourrait s'agir de la même famille qui a joué en décrochement dextre pour affecter le Sud de Sefrou pendant le Miocène.

La famille méridienne est probablement un héritage des structures hercyniennes qui ont rejoué pendant l'évolution alpine de l'Atlas (Laville, 1985) et ont été réactivé à plusieurs reprises. La faille majeure K2S hercynienne (Zouhri *et al.*, 2001), presque N120°E devenant E-W à l'Est de la Mamora, sépare ce secteur en deux compartiments : l'un méridional, dont l'aquifère plio-quadernaire et son substratum hydrogéologique (Mio-pliocène) sont compartimentés par des horsts et des grabens ; l'autre, septentrional, à structure complexe où s'individualisent trois unités structurales (U1, U2, U3) constituant le complexe Pré-rifain. Les failles E-W ont aussi été identifiées dans le Rif et sont responsables de l'évolution tectono-sédimentaire, du Miocène supérieur au Pliocène (Deffontaines *et al.*, 1992).

Les accidents Nord-Sud déduits du réseau hydrographique du bassin Rharb-Mamora (zone orientale, Oued Beht, Sebou et

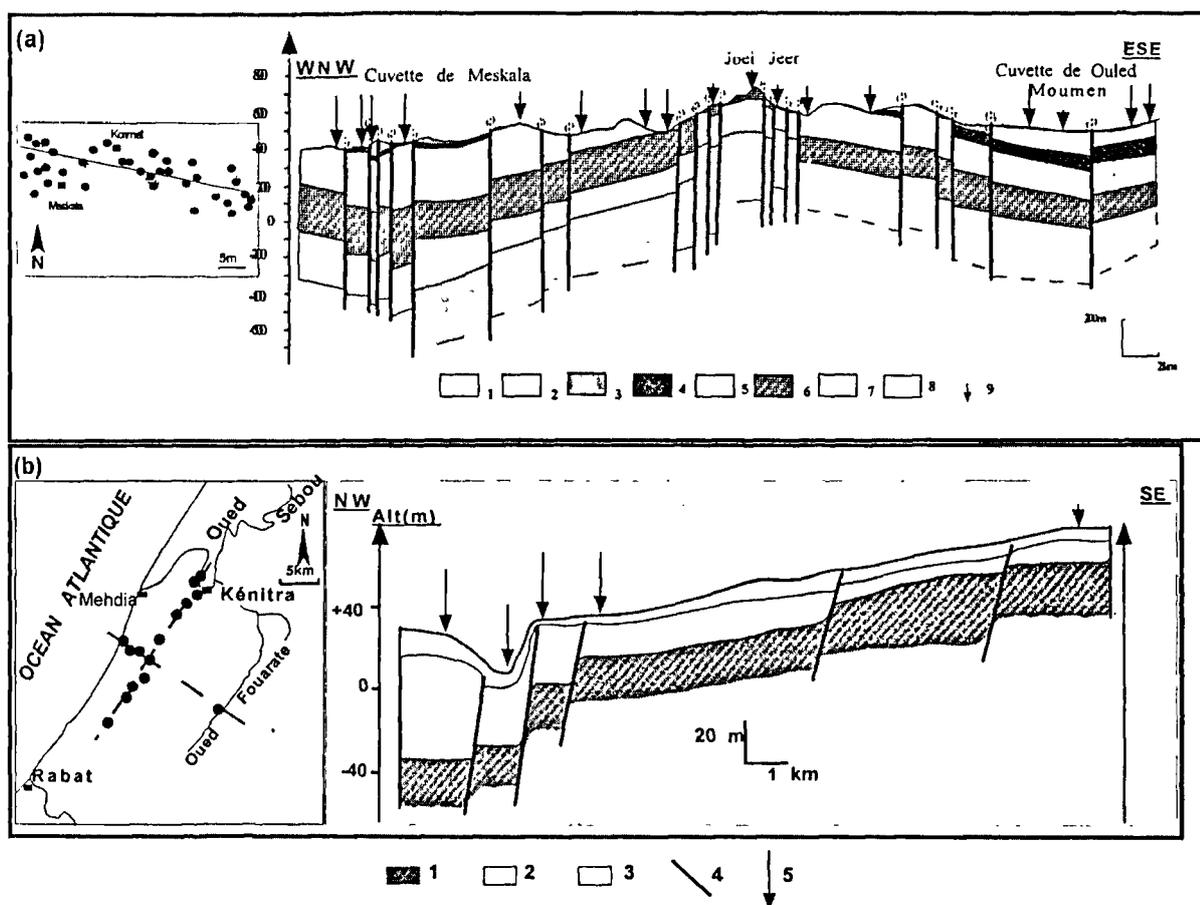


Fig. 7. — Coupes géologiques réalisées dans le bassin d'Essaouira et dans le bassin Rhareb-Mamora.

a : 1 : Quaternaire ; 2 : Eocène ; 3 : Sénonien ; 4 : Turonien ; 5 : Cénomaniens ; 6 : Vraconien ; 7 : Crétacé inférieur ; 8 : Jurassique ; 9 : Emplacement de sondage et son numéro.

b : 1 : Miocène, 2 : Pliocène, 3 : Quaternaire, 4 : Failles, 5 : Forage).

Fig. 7. — Geological sections through the Essaouira and the Rhareb-Mamora basins.

a : 1 : Quaternary ; 2 : Eocene ; 3 : Senonian ; 4 : Turonian ; 5 : Cenomanian ; 6 : Vraconian ; 7 : Lower Cretace ; 8 : Jurassic ; 9 : Number and drilling location.

b : 1 : Miocene ; 2 : Pliocene ; 3 : Quaternary ; 4 : Faults. 5 : Drilling).

Bouregreg), et d'Essaouira (Nord de Bouaboub et à l'Ouest de Korimat) pourraient être considérés comme des failles d'activité récente. Ce groupe de failles récemment formé a affecté la plus grande partie du Nord du Maroc ; elles relient les horsts et grabens transverses qui perturbent les terrains compris entre le Rif et Marrakech (Deffontaines *et al.*, 1992). Les failles N-S de l'Oued Sebou et de l'Oued Beht ainsi que celles de Oued Bouregreg pourraient être rattachées à : i) la famille de failles d'Azila (Aït Brahim & Chotin, 1988) qui ont été activées depuis le Miocène supérieur et qui encadrent le bassin subsident du Rhareb, ii) aux failles de Oued Cherrat et de l'Oued Oum er Rbia dans la Méséta côtière. La néotectonique identifiée dans ces zones de la marge marocaine pourrait être expliquée par la convergence Afrique-Espagne et glissement des nappes pré-rifaines du nord vers le sud, sans écarter la probabilité de l'activité sismique qui peut accompagner ce système de faille (Jacobshgen, 1992).

Dans le bassin d'Essaouira, c'est suivant ces direction structurales (NNE-SSW, NE-SW et E-W) que s'est développé ce dernier pendant le Mésozoïque et le Cénozoïque (Choubert

et Faure-Muret 1962 ; Michard, 1976, Mattauer *et al.*, 1977 ; Proust *et al.*, 1977 ; Laville, 1985 et Medina, 1983 ; 1993 ; Broughton & Trepanier, 1993 ; Hafid, 2000).

La fin de l'orogénèse hercynienne a connu le fonctionnement de plusieurs décrochements qui ont fragmenté la jeune chaîne atlasique en y créant des zones de faiblesse. Ces zones vont, d'une part, contrôler la répartition des bassins au cours du Trias, du Jurassique et du Crétacé et d'autre part, guider la structuration de la chaîne lors de la compression alpine.

Au Trias les premiers mouvements distensifs ont permis l'installation des bassins subsidents limités par des décrochements senestres à composantes normales orientées NNE-SSW ; NE-SW et ENE-WSW, dont le plus important est celui de Tizi n'Test, qui limite la chaîne dans sa partie sud.

L'accentuation de la distension, au Jurassique inférieur et moyen, permet l'individualisation de deux fosses très subsidentes au niveau des actuels Haut-Atlas central et oriental et Moyen-Atlas. Pendant ce temps, le Haut Atlas

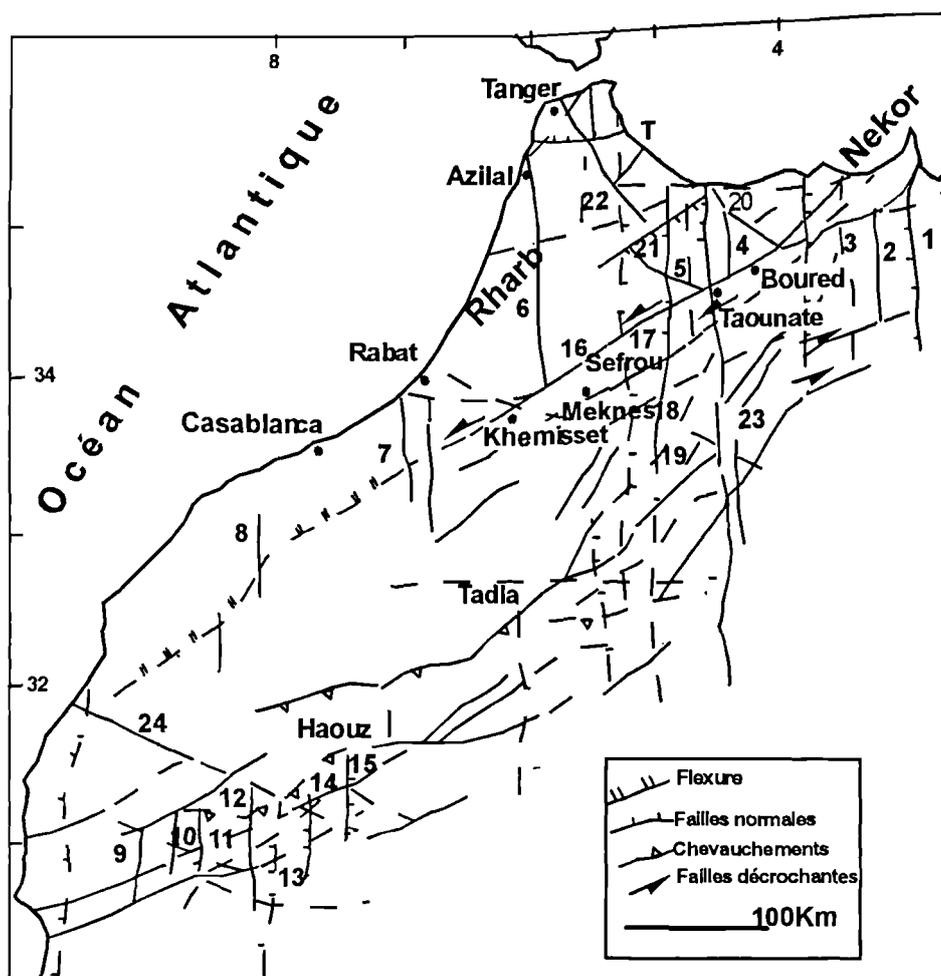


Fig. 8. — Carte des failles néotectoniques identifiées par l'étude morphométrique et sur le terrain la fracturation au Maroc (d'après Aït Brahim & Chotin, 1989; Deffontaines *et al.*, 1992 modifiée).

Fig. 8. — Map of neotectonic faults revealed by morphometric studies and field work. (After Aït Brahim & Chotin, 1989; Deffontaines *et al.*, 1992 ; modified). [Faults : 1.Taourirt, 2.Saka, 3.Trougout, 4.Fifelouest, 5.Rhafsai, 6.Arila, 7.Cherrat, 8.Oum er Rbia, 9.Menirra, 10.Seksawa, 11.Mal, 12.Njis, 13.Sous Toubkal, 14. Ourika, 15.Rdat, 16. Khemisset Taounate Boured, 17. Meknes Tissa Akroul, 18. Tizi N'Treten, 19. Nord Moyen Atlasique, 20. Ketama, 21.Teroual Taounate, 22. Tanger Chefchaouen, 23. Sebou, 24.Tensift Ourzazate].

occidental, soumis à l'influence simultanée de la distension atlasique et atlantique, continue son évolution déjà amorcée au Trias comme rift avec une sédimentation détritique et salifère.

Au Jurassique supérieur-Crétacé inférieur, on assiste à une phase de plissement localisée au niveau des fosses précédentes avec formation de bassins bordiers. Il s'agit d'une inversion tectonique due à la collision des plaques africaine et européenne. Les accidents anciens ont joué en décrochements sénestres à composantes inverses.

Pendant le Néogène et durant le rapprochement de la plaque Europe-Afrique, le Maroc a été le siège d'un régime de compression, responsable d'un décrochement de Nekor. Les contraintes de compression passaient de N040°E au Tortonien à N000°E au Tortonien supérieur-Messinien (Olivier, 1982) et de N140 -160°E au Plio-Quaternaire (Aït Brahim & Chotin, 1988), un changement de contrainte qui a eu lieu pendant l'interposition du bloc Alboran entre l'Europe et l'Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

- AÏT BRAHIM L et CHOTIN P. (1988). — Transpression et magmatisme au Néogène-Quaternaire dans le Maroc oriental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, II, 306, 1479-1485.
- AÏT BRAHIM L et CHOTIN P. (1989). — Genèse et déformation des bassins néogènes du Rif central (Maroc) au cours du rapprochement Europe-Afrique. *Geodynamica Acta*, Paris, 3, 4, 295-304.
- AÏT BRAHIM L et ROZANOV M. (1986). — Apport de l'analyse morphométrique pour la connaissance de la néostructure de la chaîne rifaine. *Bulletin des Sciences de la Terre*, Rabat, 2, 100-110.
- ANDRIEUX J. (1968). — Sur le caractère "post-tectonique" de la mise en place des nappes "rifaines" (Rif, Maroc). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 267 D, 1692-1695.

- ARTHAUD F & MATTE P. (1977). — Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa : result of a right-lateral shear zone between the Appalachians and the Urals. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 88, 1305-1320.
- BEAUDET, G. (1969). — Le plateau central marocain et ses bordures, études géomorphologiques. Thèse lettres, Paris, 473 pp.
- COLBEAUX J. P. & SOMME J. (1985). — Signification des analyses de linéaments dans le Nord de la France. *Hommes et Terres du Nord*, 3, 195-200.
- DEFFONTAINES B., CHOTIN P., AÏT BRAHIM L & ROZANOV M. (1992). — Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis. *Geologische Rundschau*, 81/1, Stuttgart, 199-210.
- DEFFONTAINES & CHOROWICZ J. (1988). — Principle of hydrographic network analysis from multisource data, application to structural analysis of the Zairian basin. *Proc. Int. Neotectonics Coll., B.R.G.M.*, 3-5 Oct. 1988, Orléans, p. 15.
- DEFFONTAINES B. & CHOROWICZ J. (1991). — Principle of hydrographic network analysis from multisource data, application to structural analysis of Zairian basin. *Tectonophysics*, 194, 237-263.
- FAUGERES J.C. (1981). — Evolution structurale d'un bassin atlantico-mésogéen de la marge africaine : les rides sud-rifaines (Maroc). *Bull. Sc. Géol. Fr.* 3, 229-244.
- FEDAN B. (1988). — Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : le Moyen atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. Thèse d'état, Univ. Mohamed V, rabat, 338p.
- HAFID M. (2000). — Triassic-early Liassic extensional systems and Tertiary inversion, Essaouira Basin (Morocco). *Marine and Petroleum Geology* t.17, p. 409-429.
- HOWARD A.D. (1967). — Drainage analysis in geologic interpretation : a summation. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, Tulsa, 51 (11), 2246-2259, 4 Fig., 1 table
- JACOBSSHAGEN V. (1992). — Major fracture zones of Morocco : The South Atlas and the Transalboran faults systems. *Geologische Rundschau*, 81/1, Stuttgart, 185-197.
- LAVILLE E. (1985). — Evolution sédimentaire, tectonique et magmatisme du bassin jurassique du Haut Atlas (Maroc). Thèse d'état, Montpellier, 166p.
- OLIVIER P. (1982). — L'accident de Jehba-Chrafate (Rif, Maroc). *Rev. Géol. Dyn. Géog. Phys.*, 22, 267-277.
- PIQUE A. (1982). — La zone de Rabat-Tiflet (Meseta marocaine septentrionale). Sa place dans l'ensemble des noyaux paléozoïques de la Méditerranée occidentale. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 295, 263-266.
- PIQUÉ A., JEANNETTE D., & MICHARD A. (1980). — The Western Meseta Shear Zone, a major and permanent feature of the Hercynian belt in Morocco. *Journal of Structural Geology*, 1/2, 55-61.
- SOUID A. K. (1983). — Etude tectonique et microtectonique des injections du Trias du bassin d'Essaouira pendant les compressions alpines dans l'avant-pays atlantique (Maroc). Thèse de 3ème cycle, Univ. Montpellier, France, 90 p.
- TAJ EDDINE K. (1991). — Le Jurassique terminal et le Crétacé basal dans l'Atlas atlantique (Maroc). Biostratigraphie, sédimentologie, stratigraphie séquentielle et géodynamique. Thèse ès Sci. Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, Strata, série 2, 16, 285 p.
- ZOUHRI L., LAMOUREUX C., & BURET C. (1998). — Dynamique sédimentaire et tectonique : Hypothèse de l'évolution post-pliocène de la Mamora (Maroc). 18^{ème} R.S.T. Brest, 31 mars - 3 avril 1998, Résumé p. 210.
- ZOUHRI L., LAMOUREUX C., & BURET C., (2001). — La Mamora, charnière entre la Meseta et le Rif : son importance dans l'évolution géodynamique post-paléozoïque du Maroc. *Geodinamica Acta*, 14, 361-372.

INVENTAIRE DE LA MACROFLORE DU MIOCENE SUPERIEUR DE LA DIATOMITE DE MURAT (CANTAL, MASSIF CENTRAL, FRANCE)

Inventory of the upper miocene macroflora from the diatomite of Murat (Cantal, Massif Central, France)

par Philippe LEGRAND (*)

(Planches V à X)

Résumé. — Le gisement de diatomite de Murat, daté du Miocène final (Messinien), est connu depuis la fin du 19^{ème} siècle et livre une riche flore foliaire qui avait autrefois été rapprochée de celle du gisement de Joursac, daté du Tortonien et distant de quelques kilomètres. Des prélèvements effectués de 1990 à 2001 ont abouti à la récolte d'environ 420 échantillons de macroflore dans la diatomite de Murat ; ceux-ci ont permis de recenser 70 formes fossiles qui sont décrites ici, et complètent un premier inventaire effectué par Roiron (1991), en portant le nombre total d'espèces à 69 (2 Ptéridophytes, 7 Gymnospermes, 2 Angiospermes Monocotylédones et 58 Angiospermes Dicotylédones). Les deux gisements apparaissent floristiquement proches, mais 16 genres botaniques présents à Joursac n'ont pas été trouvés à Murat, et au contraire 22 genres qui n'étaient pas présents à Joursac ont été identifiés à Murat. L'ensemble de ces deux gisements offre un bon aperçu de la végétation du Cantal au Miocène supérieur, qui s'est développée sous climat tempéré à frais.

Abstract. — The lacustrine diatom beds located near the small town of Murat (Central France) are well known since the end of the 19th century. A rich macroflora occurs in these diatom beds dated near the Mio-Pliocene boundary (Messinian). About 420 well preserved samples were collected from 1990 to 2001, representing 70 fossil forms described here, and completing a first inventory made by Roiron (1991). The number of species described from the diatomite of Murat is now 69 in total : 2 Pteridophytae, 7 Gymnospermae and 60 Angiospermae. The macroflora from the diatomite of Murat is compared with another well known macroflora from Joursac, a site a few kilometers far from Murat and dated Tortonian. 16 genera known in Joursac were not found again in Murat, and 22 genera not present in Joursac were identified in Murat. The macroflora from these two sites gives a good view of the vegetation during the upper Miocene in the Massif Central, growing under a temperate or cool climate.

I. — PRESENTATION DU GISEMENT

2) Description géologique

1) Localisation géographique

Le gisement de diatomite dit « de Murat » ou de Sainte-Reine, à 2 km au NNE de la ville de Murat, couvrant une superficie d'environ 1 km² entre 1000 et 1030 m d'altitude, est connu depuis 1875 et exploité en grand depuis 1901 (Durand et Rey, 1964). Il a été connu autrefois sous les noms d'Auxillac (village voisin), ou de Faufouilhoux (Faufoulioux ou Foufouilloux, ferme sur le gisement) ; la chapelle Sainte-Reine lui a valu son nom actuel. Il est situé autour du point de coordonnées Lambert III : x = 642,80 ; y = 3314,40 (Rey, 1965).

Le gisement de diatomite de Sainte-Reine et son contexte géologique ont été décrits par Rey (1965) et Fournier (1965).

Ce gisement constitue une ellipse de 0,8x1,3 km. La diatomite, mêlée à une faible quantité d'argiles (kaolinite, illite, montmorillonite), y présente une épaisseur moyenne de 20 mètres, n'excédant nulle part 30 mètres. Elle comporte une riche flore foliaire et pollinique. Elle n'est visible qu'à la faveur des exploitations, sous une couverture stérile constituée de dépôts alluviaux ou périglaciaires et surtout d'une énorme accumulation de moraine de fond atteignant 25 mètres de puissance. Le mur du gisement, connu seulement par sondage, est une brèche volcanique hétérogène, qui pourrait

(*) Membre de la Société Géologique du Nord et de la Société d'Histoire Naturelle d'Auvergne. Bât. B, rue des Robertoux, 63370 Lempdes, France

représenter une brèche de diatrème; il est en effet vraisemblable que le lac à diatomées s'est installé dans un cratère de maar. Près de la base des diatomites s'intercalent deux bancs d'alluvions fluviatiles à galets phonolitiques et trachyandésitiques, et à divers niveaux des minces lits de projections basaltiques directes (Goër de Hervé et Tempier, 1988).

3) Âge du gisement

Des feuilles fossiles identifiées à celles de Joursac, gisement voisin actuellement daté du Tortonien (Goër de Hervé et Tempier, 1988), avaient fait attribuer à la diatomite un âge Miocène supérieur (Boule, 1905). Mais l'âge du gisement d'Auxillac - Sainte-Reine a été ensuite longuement discuté, notamment sur la base de sa faune entomologique et de sa flore (Piton et Théobald, 1935), ou encore de sa position stratigraphique, de la flore de diatomées et des analyses polliniques (Durand et Rey, 1964; Rey, 1965). Les exploitations ont par ailleurs rencontré trois intrusions basaltiques, dont l'une datée à 5,4 MA, perturbant le fond du gisement et thermométamorphisant les diatomites. Il ne fait donc aucun doute que ces formations sont contemporaines des premières éruptions planésiennes de la région, aux confins mio-pliocènes. Le gisement de diatomite de Sainte-Reine est donc actuellement daté du Messinien, et noté m3D sur la carte géologique (Goër de Hervé et Tempier, 1988). La durée totale du comblement du lac où se sont déposées les diatomées a été estimée à environ 50 000 ans, d'après l'épaisseur et le nombre des varves de périodicité annuelle dans les niveaux inférieurs (Fournier, 1965).

4) Microflore fossile

Lauby (1910) retrace l'historique des études menées sur les gisements de diatomites du Cantal : les diatomées du gisement d'Auxillac ont été décrites par Héribaud (1893), celles de Faufouilhoux par Héribaud (1903). Lauby (1910) donne aussi un tableau des diatomées fossiles du Tertiaire du Massif Central, dont la liste des espèces pour le gisement « Auxillac (Faufouilhoux) (Fontillou) Auzolles ». On trouve à Murat de nombreuses formes marines et saumâtres à côté des formes d'eau douce, et la flore à diatomées présente des analogies avec celles des lacs de cratère et des sources salines chaudes des volcans de Java (Fournier, 1965). Les biozones de diatomées ont aussi été précisées dans la coupe de Murat (Serieyssol et Gasse, 1991).

Durand et Rey (1964) ont prélevé pour analyses polliniques des échantillons en mai 1961 dans la partie Ouest de la carrière supérieure (la plus ancienne); on pouvait alors voir de haut en bas : un niveau de diatomite ligniteuse (échantillons P2, P3, P4); une diatomite de couleur sombre devenant plus claire vers le bas (P12); une zone de diatomite fragmentée en morceaux de tailles diverses, orientés en tous sens emballant un énorme bloc de basalte; sous une surface de séparation subhorizontale apparaissait la diatomite régulièrement litée noire (P13), puis verdâtre, enfin blanche (P14). Six autres échantillons ont aussi été prélevés à différents niveaux dans la carrière ouverte à l'Est de la précédente atteignant la partie inférieure du dépôt dont l'épaisseur totale est d'une trentaine de mètres.

L'analyse pollinique (Durand et Rey, 1964) des échantillons récoltés dans la nouvelle carrière et dans la diatomite litée de l'ancienne (P13 et au-dessous) donne les résultats moyens suivants : *Pinus* (59 %), *Picea* (31 %), *Abies* (1 %); formes ne dépassant pas le début du Quaternaire : Cupressinae (= Cupressacées), *Tsuga*, *Carya*, *Pterocarya* (au total 3,5 %); formes disparaissant à la fin du Pliocène : *Sciadopitys*, *Sequoia*, *Taxodium*, *Nyssa* (au total 3 %); *Betula*, *Alnus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Fagus* (au total 2 %); plantes herbacées 1 %.

L'association végétale conservée dans les échantillons P2, 3, 4, et 12 récoltés par Durand et Rey (1964) est très différente : environ 50 % des grains de pollen correspondent à des plantes herbacées et parmi les arbres on compte : *Pinus* (36 %), *Salix* (35 %), *Betula* (29 %).

Les restes d'organismes siliceux varient en même temps que les grains de pollen conservés dans la diatomite : dans la roche litée abondent les formes centriques et les gros spicules de Spongiaires; ceux-ci sont rares et plus petits dans l'échantillon P12, disparaissent dans la diatomite ligniteuse, en même temps, les formes pennées deviennent prépondérantes; les Chrysomonadines sont de plus en plus nombreuses et l'augmentation du nombre des Phytolithaires accompagne le développement des plantes herbacées. La multiplication des kystes de Flagellés paraît manifester la tendance à l'assèchement (Durand et Rey, 1964).

Des pollens de *Larix*, *Cedrus*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Populus*, *Liquidambar*, *Myrica* sont aussi signalés dans la diatomite de Murat (Roiron, 1991).

5) Autres fossiles

En dehors des végétaux, le gisement de diatomite de Murat ne recèle que de rares fossiles.

Piton et Théobald (1935) décrivent six insectes de la diatomite d'Auxillac. Des exemplaires généralement incomplets se trouvent actuellement en faible nombre dans les niveaux moyens supérieurs de l'exploitation, notamment des coléoptères dont les élytres conservent des teintes métalliques vertes ou bleues mais qui ternissent au séchage.

Quelques araignées auraient aussi été récoltées (comm. pers.).

Enfin, un poisson aurait été découvert dans la diatomite (Rey, 1965).

II. — LA MACROFLORE FOSSILE

1) Aspects historiques

Lauby (1910), ayant pratiqué un sondage dans le dépôt de Faufouilhoux, note que les argiles à diatomées de ce gisement renferment des empreintes de feuilles excessivement fragiles, et discute du mode de fossilisation des espèces végétales; mais il n'indique aucune liste d'espèces autres que les diatomées pour ce gisement.

Les feuilles, considérées par Boule (1905) comme identiques à celles du gisement de Joursac distant de quelques kilomètres, ne paraissent pas avoir fait l'objet d'études spéciales jusqu'à une date récente (Rey, 1965). Dans sa revue bibliographique consacrée aux périodiques locaux, Salanon (1970) ne relève qu'une seule référence relative à la macroflore du gisement d'Auxillac; dans une revue bibliographique plus générale, Lakatos (1959) n'en indique aucune autre.

En effet, Piton et Théobald (1935) indiquent que le gisement d'Auxillac est peu exploré au point de vue paléobotanique; ils donnent seulement une liste d'espèces communiquée par le paléobotaniste Marty: *Quercus hispanica* Rér., *Alnus stenophylla* Sap. & Mar., *Ulmus campestris* L., *Zelkova ungeri* Kov., *Juglans regia* L., *Acer laetum pliocenicum* Sap. & Mar., *Myriophyllum* sp.

Le premier inventaire de la macroflore fossile de la diatomite de Murat a été dressé par Roiron (1991), qui y a trouvé les espèces suivantes :

Gymnospermes : *Abies ramesi* Sap., *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer, *Picea* sp., *Pinus* sp., *Sequoia langsdorfii* (Brongn.) Heer.

Monocotylédones : *Bambusa* sp.

Dicotylédones : *Acer campestre* L., *Acer integerrimum* (Viv.) Mass., *Acer opalus* Mill. (= *A. opulifolium* Vill.), *Acer platanoides* L., *Acer sanctae-crucis* Stur, *Acer tricuspidatum* Bronn, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus hoernesii* Stur, *Alnus* sp. cf. *A. kefersteinii* Ung., *Alnus viridis* DC., *Berberis* sp. cf. *B. regeliana* Koehne, *Betula* sp., *Carpinus betulus* L., *Carpinus orientalis* Mill., *Carpinus suborientalis* Sap., *Carya minor* Sap. & Mar., *Cedrela* sp., *Celtis australis* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Crataegus* sp. cf. *Cr. douglasii* Lindl., *Dombeyopsis lobata* Ung., *Hedera helix* L., *Ilex* sp. aff. *I. cornuta* Lindl. & Paxt., *Juglans regia* L., *Phellodendron* sp. cf. *P. amurense* Rupr., cf. *Photinia*, *Populus tremula* L., *Prunus acuminata* Al. Br., *Quercus hispanica* Rér., *Quercus kubinyi* (Kov.) Berger, *Quercus* sp. cf. *Q. macranthera* Fisch. & Mey., *Rosa* sp. cf. *R. californica* Cham. & Schlecht., *Tilia tomentosa* Moench., *Ulmus* sp. (samares), *Ulmus campestris* L., *Ulmus* sp. cf. *U. fulva* Michx., *Zelkova ungeri* Kov. aff. *Zelkova serrata* (Thunb.) Mak. (= *Z. acuminata* Planch.), *Zelkova ungeri* Kov. aff. *Zelkova carpinifolia* (Pall.) K. Koch (= *Z. crenata* Spach).

Incertae sedis : 5 formes fossiles.

Par ailleurs, Privé-Gill (1987) a identifié quatre bois à structure conservée provenant de la diatomite de Murat. Les trois premiers sont de structure identique et sont des bois de la famille des Pinacées dont la structure évoque les genres *Abies* et *Cedrus*, et est plus proche du genre *Cedrus*; ils ont été rapportés au genre *Cedroxylon* sp., terme qui regroupe les bois fossiles voisins des genres actuels *Abies*, *Cedrus*, *Keteleeria*, *Pseudolarix* et *Tsuga*. Le quatrième bois est de la famille des Fagacées : *Quercoxylon böckhianum* (Felix) Müller-Stoll & Mädél, bois de chêne de type « blanc » dont les espèces actuelles les plus proches sont *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Mattus.) Liebl., et *Quercus pubescens* Willd. (Privé-Gill, 1987).

De nouvelles récoltes de macroflore effectuées dans la diatomite de Murat nous amènent aujourd'hui à compléter ce premier inventaire.

2) Récolte des échantillons

La macroflore présentée ici a été récoltée au cours de la période 1990-2001, dans la carrière de diatomite exploitée par

la société CELITE France, autour du point de coordonnées Lambert III $x = 642,80$ et $y = 3314,05$, et dans ses déblais. La vitesse d'exploitation du gisement étant très variable, et l'érosion superficielle de la diatomite relativement rapide, il n'a pas été possible d'effectuer un échantillonnage suivi niveau par niveau. Celui-ci a cependant été noté approximativement lorsque c'était possible. Nous avons pour ce faire distingué arbitrairement des subdivisions de puissances sensiblement égales, qui correspondent aux principaux gradins de l'exploitation dans la carrière de diatomite, dont la hauteur totale sous la moraine de recouvrement atteint 25 à 30 mètres (Tabl. I).

La facilité de récolte des végétaux dépend aussi du taux d'humidité de la diatomite, qui conditionne son aptitude à la fissilité ainsi que l'adhérence des feuilles sur le substrat. Seules les feuilles suffisamment bien conservées et déterminables ont été collectées; les débris ou fragments, particulièrement abondants, n'ont pas été pris en compte, mais la fréquence de certaines espèces est quand même signalée dans le texte.

Afin de permettre leur conservation, les feuilles fossiles ont fait l'objet d'un traitement de surface par badigeonnage à la colle vinylique à bois diluée dans de l'eau. En l'absence d'un tel traitement, les feuilles se dessèchent rapidement, se craquellent et se détachent en fragments ou en poussière de leur support de diatomite. A noter qu'un badigeonnage de vernis polyuréthane ne donne pas de bons résultats (difficultés de mise en œuvre liées au taux d'humidité du substrat, et jaunissement important avec le temps).

3) Etude des formes fossiles

L'inventaire effectué a permis de recenser les genres représentés dans le gisement; pour chaque genre ont été distingués des « espèces », lorsque plusieurs formes manifestement différentes pouvaient être distinguées à l'intérieur du genre. Ainsi sont nommées les espèces fossiles telles que décrites dans la littérature, et les espèces actuelles suivies par convention du qualificatif *fossilis* lorsque la forme fossile rencontrée semble s'identifier à une espèce vivante actuelle. Pour ce travail, nous n'avons pas pu accéder aux holotypes de chaque espèce de forme fossile, ni aux collections paléobotaniques anciennes, mais uniquement à une partie de la bibliographie concernant la flore mio-pliocène; les collections de végétaux actuels des Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand ont aussi permis de préciser quelques points.

L'ensemble de la flore mio-pliocène mériterait d'ailleurs d'être révisée, sur la base d'une comparaison avec les holotypes et entre les spécimens provenant des différents gisements, et avec des études de la variabilité des populations fossiles et actuelles, afin d'éliminer les spécimens et les espèces de forme fossiles douteux. Il faut en effet souligner que :

- la flore fossile mio-pliocène décrite dans la littérature, très proche de la flore actuelle, est un mélange d'espèces de forme paléobotaniques et d'espèces botaniques actuelles ;

- les espèces fossiles étant décrites en tant qu'espèces de forme, il est possible que plusieurs espèces de forme fossiles recouvrent en fait une seule espèce botanique ; la variabilité

Diatomite blanche, avec quelques passées plus sombres	niveau supérieur (peu fossilifère)
	niveau moyen supérieur
	niveau moyen inférieur (non échantillonné ; peu fossilifère)
	niveau inférieur
Diatomite argileuse de couleur gris-vert (fond de la carrière)	(non échantillonné ; peu fossilifère)

Tabl. I. — Niveaux distingués dans la carrière de diatomite lors des récoltes de fossiles.

Tabl. I. — Sampling levels in the diatomite quarry.

recouverte par plusieurs espèces de forme peut correspondre à la variabilité intra-populationnelle d'une seule espèce botanique, voire même d'une seule variété ou d'un seul individu ; ainsi, pour la détermination d'une plante ligneuse actuelle et compte tenu de la grande variabilité des organes végétatifs, Rameau *et al.* (1993) recommandent d'examiner plusieurs feuilles, rameaux... de l'individu que l'on souhaite déterminer, de ne pas utiliser les feuilles trop jeunes ou trop âgées, les feuilles des rejets, ainsi que celles qui se développent sur des individus fréquemment retaillés, de faire attention à la variabilité existant entre les pousses de lumière et les pousses d'ombre, celle du mode d'insertion entre les feuilles de rameaux courts et de rameaux longs, etc., choix dont on ne dispose évidemment pas dans les gisements de plantes fossiles où les organes foliaires sont isolés ; l'établissement d'un certain nombre d'espèces de forme fossiles décrites dans la littérature est donc sujet à discussion, surtout lorsqu'il s'est fait sur la base de fragments isolés et incomplets, et non sur la population d'un gisement.

Pour ce qui concerne i) la répartition des espèces fossiles au cours des temps géologiques et dans les différents gisements, et ii) les affinités botaniques des espèces fossiles et leur rapprochement avec les espèces actuelles, nous renvoyons à la bibliographie et notamment à l'importante synthèse de Grangeon (1956), qui recouvre une grande partie des espèces décrites ici, ainsi qu'à Roiron (1991) qui a passé en revue la bibliographie récente.

Enfin, la nomenclature botanique retenue pour les unités de rang supérieur au genre est celle préconisée par Judd *et al.* (2002).

III. — INVENTAIRE SYSTEMATIQUE

TRACHEOPHYTES A SPORES (PTERIDOPHYTES)

Equisétophytes
EQUISETACEAE

Equisetum sp.
(Pl. V, fig. 2)

Une portion de tige non ramifiée a été récoltée dans la diatomite de Murat ; elle est faiblement sillonnée, légèrement renflée entre les nœuds, présente 3 nœuds visibles, mais aucune extrémité ; sa longueur est de 18,5 cm, sa largeur de 5 à 6 mm, la distance entre deux nœuds consécutifs est de 6,2 et 6,7 cm ; la hauteur d'un nœud est de 2,5 mm, et la gaine présente 14 stries visibles sur le nœud le mieux conservé (soit un total voisin de 28 pour tout le pourtour du nœud), mais les dents ne sont pas conservées.

Parmi les prêles actuelles, notre fossile se rapproche d'*Equisetum fluviatile* L., à tige finement striée sans côtes saillantes.

Fougères leptosporangiées

POLYPODIACEAE S. L. (y compris ASPLENIACEAE)

Asplenium viride Hudson fossilis
(Pl. V, fig. 1)

Laurent et Marty (1927) figurent un *Asplenium viride* Huds. fossile Marty. *A. viride* a des pinnules de forme ovale-rhomboidale ou suborbiculaire, petites (de longueur inférieure à 8 mm), en coin à la base, à bords crénelés ou incisés-crénelés (Coste, 1937).

Le fossile récolté à Murat apparaît proche de l'espèce actuelle ; il est constitué d'une pinnule isolée et d'une portion de fronde de 2,1 cm de long, avec 6 pinnules latérales de chaque côté et une pinnule terminale ; les pinnules sont opposées, de forme triangulaire à sommet arrondi, et mesurent 4 mm de longueur ; les pinnules sont rétrécies à leur base en une sorte de petit pétiole ; le bord des pinnules est ondulé ou apparaît peu incisé.

SPERMATOPHYTES NON ANGIOSPERMES (« GYMNOSPERMES »)

Conifères
CUPRESSACEAE

Juniperus sp. section *sabina*
(Pl. V, fig. 9)

Plusieurs rameaux, dont l'un très ramifié avec des cônes en connexion, ont été récoltés à Murat. La présence de cônes d'aspect plutôt charnu permet de rapporter ces fossiles aux Junipérées, et les feuilles squamiformes, le plus souvent opposées, ainsi que l'absence de bourgeon hivernal nettement différencié, à la section *sabina* qui comprend de nombreuses espèces (Debazac, 1964). Les ramules terminales ont un diamètre de 1 à 1,5 mm ; les feuilles sont en écailles losangiques, à bord entier, appliquées sur le rameau (mais parfois l'une d'elles, plus pointue, s'en écarte), et sont opposées ; les cônes mesurent 3 à 7 mm, sont ronds ou très légèrement allongés, et la fossilisation ne permet pas de voir les lignes de suture des écailles.

Ces fossiles récoltés à Murat sont bien différents du *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer, taxodiace fossile rapprochée de l'actuel *Glyptostrobus lineatus* (Poir.) Druce (= *G. heterophyllus* Endl.). En effet, chez *Glyptostrobus europaeus*, les branches sont fines, grêles, presque dichotomiquement ramifiées, et quelques extrémités présentent des renflements qui sont des bourgeons terminaux ou des boutons mâles ; les feuilles sont de deux types : les unes sont courtes, aciculaires, plus ou moins appliquées contre l'axe, et à base décurrense ; les autres sont linéaires, allongées et distiques ; les cônes ovoïdes, ligneux, à écailles cunéiformes imbriquées, sont longuement pédonculés et mesurent 12 à 35 mm de long (Laurent, 1912 ; Depape, 1922 ; Piton, 1940 ; Debazac, 1964). Plusieurs fossiles figurés dans la littérature sous le nom de *Glyptostrobus europaeus* ne semblent d'ailleurs pas présenter les caractères discriminants de cette espèce.

PINACEAE

Abies sp. ? ou *Cedrus* sp. ?
(Pl. V, fig. 3)

Deux bases de cônes possédant les écailles, de mauvaise conservation avec une pyritisation partielle, peuvent être rapportées soit au genre *Abies*, soit au genre *Cedrus*.

Abies ramesi Saporta
(Pl. V, fig. 4)

Les feuilles d'*Abies ramesi* mesurent en général 6-25 mm de long sur 2-3 mm de large ; elles sont droites, assez longuement atténuées et arrondies au sommet où elles sont quelquefois mais très rarement bifides (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956). *Abies oceanines* Ung. et *Abies saportana* Rér. sont considérés comme synonymes (Marty, 1903). Saporta avait comparé l'*Abies ramesi* à plusieurs sapins du pourtour méditerranéen (Laurent, 1904-1905) et l'*Abies ramesi* a notamment été rapproché de l'actuel *Abies cilicica* (Ant. & Kotschy) Carr. (Marty, 1903 ; Marty, 1905) ; Marty et Glangeaud (1936, in Grangeon, 1956) en font une espèce synthétique de plusieurs sapins montagnards du pourtour de la Méditerranée.

Les différents sapins actuels de la région méditerranéenne sont des espèces affines appartenant sans doute à un même phylum dont l'aire s'est retrouvée disloquée. L'affinité entre ces différentes espèces est mise en évidence par l'hybridation naturelle qui est observée lorsqu'elles sont introduites côte à côte dans des arboretums (Debazac, 1964).

Les aiguilles récoltées à Murat sont aplaties, à nervure médiane bien marquée, avec deux bandelettes de stomates à la face inférieure, terminées en pointe, et atteignent jusqu'à 31 mm de long et 2,5 mm de large.

Roiron (1991) signale aussi des graines d'*Abies ramesi* dans la diatomite de Murat.

Cedrus miocenica Lauby
(Pl. V, fig. 5)

Lauby (1910) a créé l'espèce *Cedrus miocenica* pour des écailles de cônes femelles et des graines isolées découvertes en association dans le Miocène de l'Aubrac. Il précise que l'espèce *C. vivariensis* Boulay, fossile du Miocène de l'Ardèche, n'a été créée que pour une graine ; Boulay a aussi trouvé une écaille mais ne l'a pas spécifiée. Marty (1931, in Grangeon, 1956), et Grangeon lui-même, rattachent cependant *C. miocenica* à *C. vivariensis*. Enfin, Grangeon (1956), qui a comparé de nombreuses graines des espèces vivantes, rapproche l'espèce fossile du *Cedrus atlantica* Man. actuel.

Chez *Cedrus atlantica*, la graine est subtriangulaire, cunéiforme à la base, à aile large, et la partie libre de l'aile est plus longue que la graine (Debazac, 1964). Chez les *Cedrus*, la courbure très brusque que subissent dans le cône les graines au-dessus de la nucule est très nettement représentée, par un pli caractéristique que subit l'aile (Boulay in Lauby, 1910 ; Grangeon, 1956). A la différence, chez les *Abies*, les graines sont triangulaires ; l'aile est très développée, mince, et recouvre la face supérieure de la graine et enveloppe partiellement la face inférieure (Debazac, 1964).

Cedrus miocenica Lauby
(Pl. V, fig. 6)

Les cèdres ont de gros cônes, ovoïdes, dressés, à écailles membraneuses, se désarticulant à maturité, soit deux ou trois ans après la floraison. Dans le genre *Cedrus*, les écailles ont une bractée

naine toujours incluse ; dans le genre *Abies*, les bractées sont, suivant les espèces, plus ou moins longues que les écailles et, sur le cône fermé, elles sont donc soit incluses, soit saillantes (Debazac, 1964).

Boulay (1887, in Grangeon, 1956) indique à propos d'une écaille de cône du Miocène de l'Ardèche, que par sa base élargie, son contour supérieur très étendu et la nervation à lignes presque parallèles, elle correspond beaucoup mieux au genre *Cedrus* qu'au genre *Abies*. Boulay rapproche aussi une écaille non spécifiée du Pliocène du Puy-de-Dôme, du *C. vivariensis* du Miocène de l'Ardèche défini par ses graines (voir paragraphe précédent consacré aux graines) (Lauby, 1910), cette écaille concordant selon Boulay avec le tiers inférieur des cônes de l'actuel *C. atlantica* (Grangeon, 1956).

Cependant, la distinction entre les différentes espèces actuelles du genre *Cedrus*, parfois considérées comme de simples variétés, est difficile (Lauby, 1910 ; Grangeon, 1956), ce qui a conduit Lauby (1910) à créer l'espèce fossile collective *C. miocenica*, définie à la fois par ses graines et par ses écailles de cônes.

Cedrus miocenica Lauby
(Pl. V, fig. 7)

Deux fossiles isolés, non attachés à un rameau et dont on peut penser qu'ils étaient caducs comme le sont les chatons mâles des cèdres actuels, ont été récoltés dans la diatomite de Murat. Ils sont tous les deux légèrement arqués, et mesurent l'un 3,5 cm de long sur 0,9 cm de large, et l'autre (en partie pyritisé) 4 cm de long sur 0,8 cm de large ; les petites écailles sont bien visibles. Nous rapportons ces chatons mâles au *Cedrus miocenica* Lauby.

Cedrus miocenica Lauby
(Pl. V, fig. 8)

Dans la diatomite de Murat, a été récolté un rameau long (longueur : 2,5 cm conservés, 5 cm en empreinte totale) portant deux rameaux courts (de 1,1 cm de longueur chacun), au niveau desquels on aperçoit les cicatrices d'insertion des aiguilles disposées en rosette.

La présence de rameaux longs et de rameaux courts portant des aiguilles en bouquets est caractéristique de la tribu des Laricées (de la famille des Pinacées) qui comprend les genres *Cedrus*, *Larix* et *Pseudolarix* (Debazac, 1964).

Le genre *Cedrus* est représenté à Murat par des graines, des écailles de cônes, et des chatons mâles ; des organes des autres genres *Larix* et *Pseudolarix* n'ont pas été trouvés ; nous rapportons donc ce rameau au *Cedrus miocenica*.

Picea sp.
(Pl. V, fig. 10)

Dans le genre *Picea*, les graines sont pourvues d'une aile transparente, à sommet arrondi, la partie libre de l'aile étant environ deux fois plus longue que la graine ; l'aile se détache facilement ; chez *Picea abies* (L.) Karst. actuel (= *P. excelsa* [Lam.] Link.), la graine est subtriangulaire (Debazac, 1964). Chez *Picea*, la graine est posée sur l'aile qui se détache en forme de cuiller (Grangeon, 1956). A la différence, dans le genre *Pinus*, les graines ont une aile plus ou moins développée ou n'en ont pas (Debazac, 1964) ; l'aile des pins a un sommet qui se termine en pointe ou est tronqué obliquement, et elle forme des pincettes qui enveloppent la graine, sauf chez l'actuel *P. banksiana* Lamb. où la graine est posée sur l'aile (Grangeon, 1950 ; Grangeon, 1956).

Parmi les graines fossiles de *Picea* de différents gisements, Marty (1903) cite une graine de *Picea* qu'il rapproche de l'actuel *P. smithiana* [Wall.] Boiss. (= *P. morinda* Link.), tout en remarquant l'analogie avec le *Picea excelsa pliocenica* Sap. du Pliocène moyen

de Ceysnac. Grangeon (1956) cite une petite graine d'Abiétées se rapprochant de *Picea* ou de *Pinus banksiana*. Grangeon (1950) attribue une autre graine ailée à *Picea abies* : graine petite, obovale, en coin, à aile trois fois plus longue que la graine, dont le bord interne est droit tandis que le bord externe est régulièrement courbé, et le sommet arrondi. Il apparaît néanmoins difficile de spécifier les graines fossiles de Murat qui sont abondantes.

Picea sp.
(Pl. V, fig. 11)

La plupart des cônes de Murat sont bien conservés, sans avoir subi de déformation, mais sont souvent pyritisés, ce qui pose des problèmes de conservation à l'air (oxydation de la pyrite et destruction du cône) ; un cône non pyritisé a lui subi une déformation par aplatissement dans un plan passant par l'axe longitudinal.

Saporta signale un cône de *P. smithiana* [Wall.] Boiss. (= *P. morinda* Link. actuel, Himalaya) dans le Miocène supérieur des conglomérats volcaniques d'Auvergne (Marty, 1903). Le *Picea smithiana* a des cônes longs, cylindriques coniques, de 9 à 17 cm de long, à écailles arrondies, à bord supérieur entier (Debazac, 1964), description qui correspond bien aux cônes récoltés à Murat, mais d'autres espèces actuelles peuvent aussi s'en rapprocher.

Roiron (1991) indique que sur un cône qu'il a récolté, on distingue sur des écailles une courte pointe terminale comme sur celles des cônes actuels de *Picea abies* (L.) Karst. ; ce caractère n'a pas été retrouvé sur nos cônes les mieux conservés, qui ont au contraire des écailles arrondies à bord supérieur entier ; peut-être existe-t-il donc à Murat plusieurs espèces de *Picea*.

Pinus sp.
(Pl. V, fig. 12)

Les différences avec les graines de *Picea* ont été évoquées ci-dessus.

Seules deux graines récoltées dans la diatomite de Murat ont pu être rapportées au genre *Pinus*, l'une à graine avortée mais à aile caractéristique, l'autre à graine absente des pinces de l'aile ; quelques graines de *Pinus* avaient déjà été signalées à Murat par Roiron (1991).

Autres fossiles de Conifères

Dans la diatomite de Murat, d'autres aiguilles de conifères, plus petites et moins caractérisées sont signalées pour mémoire mais n'ont pas été recensées. Roiron (1991) cite notamment des aiguilles de *Picea*.

D'autres conifères sont aussi signalés à Murat par Roiron (1991) : *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer (Taxodiacees) [rameau feuillé] ; *Sequoia langsdorfii* (Brongn.) Heer (Taxodiacees) [rameau feuillé].

ANGIOSPERMES
Monocotylées
ALISMATALES
POTAMOGETONACEAE

Potamogeton sp. ?
(Pl. V, fig. 14)

Une feuille ovale oblongue, en coin à la base, entière, d'1,8 cm de large, à pétiole de 7 mm, la moitié supérieure du limbe n'étant pas

conservée, possède 4 nervures de chaque côté de la médiane principale, qui partent presque de la base du limbe au point d'insertion du pétiole ; cette feuille est rapportée avec un point de doute au genre *Potamogeton* qui comporte de nombreuses espèces fossiles et actuelles.

POALES
POACEAE (= GRAMINEAE)

Bambusa lugdunensis Saporta & Marion
(Pl. V, fig. 13)

Feuille à bords parallèles, atténuée à la base, avec un court pétiole ; le limbe est parcouru par une forte nervure centrale, accompagnée de 3 nervures latérales très marquées de chaque côté, entre lesquelles on aperçoit 4 à 8 nervures de troisième ordre, avec de fines anastomoses transverses entre ces nervures intercalaires (Grangeon, 1950 et 1956). Cette espèce est fort répandue dans les gisements pliocènes du Cantal (Laurent et Marty, 1927). *Bambusa cambonensis* Boulay est synonyme (Laurent, 1904-1905 ; Marty, 1905).

Laurent (1904-1905) rapproche *B. lugdunensis* de l'actuel *Pseudosasa japonica* Mak. (= *Arundinaria japonica* Sieb. & Zucc.)

Les empreintes fossilisées bien conservées sont assez rares dans la diatomite de Murat. Par ailleurs, Roiron (1991) signale à Murat des feuilles d'un *Bambusa* sp., qu'il estime différent du *B. lugdunensis*.

Autres fossiles d'Angiospermes monocotylédones

Comme le signalait déjà Roiron (1991), des restes de feuilles de monocotylédones sont assez fréquents à Murat ; le plus souvent, il s'agit de fragments linéaires, à nervures parallèles, de largeur et longueur variables, plus ou moins bien conservés et difficilement spécifiables ; ces restes n'ont donc pas été pris en compte dans cet inventaire, mais sont signalés pour mémoire.

« Paléohérbes non monocotylées »
CERATOPHYLLALES
CERATOPHYLLACEAE

Ceratophyllum demersum Linné fossilis
(Pl. VII, fig. 5)

Les empreintes fossiles citées dans la littérature, notamment *C. aquitanicum* Saporta et *C. miodemersum* Chaney & Hu, sont toutes rapprochées de l'espèce actuelle *C. demersum* (Grangeon, 1950 ; Grangeon, 1956 ; Brice, 1965).

Les empreintes fossilisées bien conservées sont assez rares dans la diatomite de Murat, bien que l'espèce soit assez fréquente.

« Complexe des magnoliidées »
LAURALES
LAURACEAE

Laurus azorica (Seubert) J. Franco fossilis
(Pl. VIII, fig. 7)

Grangeon (1956) indique que les lauriers actuels comprennent deux principales espèces :

- le laurier noble, *Laurus nobilis* L., possède des feuilles de forme variable, lancéolées ou lancéolées elliptiques, plus ou moins atténuées à la base ; les bords du limbe sont festonnés ; les nervures

secondaires, au nombre de 6-8 paires font avec la médiane un angle de 50-60° ; elles se bifurquent généralement assez loin de la marge ;

- le laurier des Canaries, *Laurus azorica* (Seub.) J. Franco (= *Laurus canariensis* Webb & Berthelot), a lui aussi des feuilles de forme variée dont certaines pourraient être confondues avec celles du *L. nobilis* ; mais les nervures secondaires sont en général plus nombreuses : 7-8 paires en moyenne ; elles sont de plus émises sous un angle plus aigu, sont plus ascendantes et présentent en général une dichotomie moins accusée que chez *L. nobilis* ; le laurier des Canaries a été signalé dans de nombreux gisements pliocènes.

Ainsi, certaines feuilles des deux espèces sont très proches et variables ; chez *L. azorica*, les bords du limbe sont faiblement ondulés et les nervures secondaires ne se dichotomisent pas comme chez *L. nobilis* au milieu du limbe ; elles sont aussi plus régulièrement ascendantes (Laurent, 1908 ; Depape, 1922).

Les feuilles récoltées à Murat sont rares, assez peu typiques, et rapportées à cette espèce avec un point de doute.

Persea indica Sprengel *fossilis*
(Pl. VIII, fig. 9)

Laurent (1904-1905) discute des différentes espèces fossiles de *Persea* et rapproche la majorité des formes de l'actuel *Persea indica* Spr. ; il indique que les feuilles du *Persea indica* Spr. *pliocenica* Laurent ont une douzaine de paires de nervures secondaires toutes alternes comme c'est le cas général chez les Lauracées ; les nervures intermédiaires incomplètes sont fréquentes. Laurent (1908) et Depape (1922) précisent les caractères des feuilles : lauriformes, lancéolées et légèrement renflées vers le milieu ou vers la portion inférieure du limbe, parfois à bords presque parallèles, atténuées au sommet en pointe mousse, à base cunéiforme plus ou moins allongée ou arrondie ; la marge est entière ; la nervure principale est forte ; les nervures secondaires sont faiblement marquées, leur angle d'émergence est variable, d'autant plus aigu que la base est allongée ; les nervures secondaires sont espacées le long de la principale, avec de nombreuses intercalaires, et montrent une camptodromie longuement ascendante ; le réseau tertiaire est formé de mailles pentagonales et le réseau ultime de mailles polyédriques très serrées.

La seule feuille récoltée à Murat se rapproche nettement de la figure de Boulay, in Depape (1922) ; elle est incomplète au sommet, mais montre 11-13 nervures secondaires sur la partie conservée ; les nervures intercalaires sont nombreuses et rejoignent souvent la nervure secondaire qui leur est inférieure bien avant la marge du limbe.

Sassafras ferrettianum Massalongo
(Pl. IX, fig. 11)

Cette espèce fossile est très proche de l'actuel *Sassafras albidum* (Nutt.) Nees (= *S. officinale* Nees). Elle est fréquente dans les gisements tertiaires d'Europe, et les trois formes de feuilles, entières, lobées d'un côté, et à deux lobes latéraux, correspondent aux feuilles de la plante actuelle. Le *Sassafras cantalense* Boulay est une espèce fossile synonyme (Marty, 1903 ; Laurent, 1904-1905 ; Depape, 1922 ; Laurent et Marty, 1927). Les feuilles entières sont tantôt longuement elliptiques, tantôt ovales, tantôt presque orbiculaires, et leur nervation peut aller du type penné au type palmé en passant par un type intermédiaire, dans le gisement de Las Clausades (Cantal) où cette espèce est particulièrement abondante (Marty, 1905).

Une seule feuille entière a été récoltée à Murat ; sa base n'est pas conservée, mais la nervation est bien visible.

Tricolpées (dicotylées vraies)
RANUNCULALES

BERBERIDACEAE

Berberis sp.
(Pl. VI, fig. 6)

Une unique feuille récoltée dans la diatomite de Murat mesure 5,3 cm de long sur 3 cm de large ; elle est atténuée à la base (du moins pour la partie conservée), et de forme elliptique, à bord du limbe ondulé et muni de courts piquants dirigés vers le haut du limbe ; la nervure médiane, droite, est bien marquée, et les nervures basales et latérales qui remontent vers le sommet du limbe sont sinueuses, déjetées à l'émission de branches qui s'anastomosent aux autres nervures. Roiron (1991) figure aussi une feuille de morphologie voisine de la nôtre, qu'il rapproche de l'espèce japonaise actuelle *Berberis regeliana* Koehne.

VITALES
VITACEAE

Vitis sp. ?
(Pl. X, fig. 7)

Tiges courtes et ramifiées, portant au sommet des ramifications de nombreux petits grains de 1 à 1,5 mm de diamètre, de fossilisation assez mauvaise, et rapportées avec doute à une vigne.

Vitis praevinifera Saporta
(Pl. X, fig. 8)

Grangeon (1956) souligne que les organes foliaires sont particulièrement polymorphes chez les vignes. Plusieurs espèces fossiles de vignes mio-pliocènes ont cependant été décrites (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956 ; Brice, 1965).

Une feuille fortement lobée récoltée à Murat peut être rapportée à *Vitis praevinifera* Sap., qui a par ailleurs été rapprochée de l'actuel *V. vinifera* L. (Grangeon, 1956).

Vitis vivariensis N. Boulay aff. *Vitis vinifera* Linné *fossilis*
(Pl. X, fig. 9 et 10)

Plusieurs feuilles fossiles de Murat semblent correspondre à la description que donne Grangeon (1956) de l'espèce fossile *Vitis vivariensis* N. Boulay, qu'il rapproche de l'espèce actuelle *Vitis vinifera* L. : les feuilles sont symétriques ; les auricules à la base du limbe sont bien développés ; du sommet du pétiole partent directement 5 nervures principales auxquelles correspondent des lobes sur le contour du limbe ; ces lobes sont peu marqués sur les feuilles de petite taille (3 cm) qui sont presque rondes et très symétriques, mais plus apparents sur les feuilles de plus grande taille ; les dents du bord du limbe sont obtuses.

MALPIGHIALES
SALICACEAE

Populus alba Linné *fossilis*
(Pl. VIII, fig. 10)

Les feuilles des espèces actuelles *P. alba* L., *P. x canescens* (considéré comme un hybride fixé entre *P. alba* et *P. tremula* L.) et *P. tremula* L. sont très polymorphes, et si la distinction est assez facile pour les formes moyennes, elle est beaucoup plus difficile pour les extrêmes (Depape, 1922 ; Laurent et Marty, 1927 ; Grangeon, 1956 ; Bout et Marty, 1936) ; les feuilles des jeunes sujets ou des rejets ont

ainsi une morphologie souvent très différente de celles de l'arbre adulte.

Bien que cette espèce soit signalée dans de nombreux gisements tertiaires (Grangeon, 1956), une seule feuille trilobée à bords grossièrement dentés a été récoltée à Murat.

Populus x canescens (Aiton) Smith *fossilis*
(Pl. VIII, fig. 11)

Voir la discussion des différents *Populus* ci-dessus. Une feuille de Murat peut être rapportée à cette espèce.

Populus nigra Linné *fossilis*
(Pl. VIII, fig. 12)

Feuilles pointues au sommet, dilatées sur les côtés dans leur partie inférieure et terminées vers le pétiole en un angle très obtus ; contour rhomboïdal, triangulaire à losangique ou en coin à la base, à dents fines et serrées (Depape, 1922 ; Rameau *et al.* 1989).

Les feuilles fossiles de Murat sont assez mal conservées, souvent fragmentaires, et seule une feuille de bonne conservation peut être rapportée à cette espèce ; la nervure médiane est plus forte que les autres ; les nervures latérales se détachent de la principale sous un angle assez grand, se recourbent en se dirigeant vers la marge, et, avant de l'atteindre, rejoignent la nervure suivante.

Populus tremula L. *fossilis*
(Pl. VIII, fig. 13)

Les feuilles fossiles orbiculaires ne semblent pas se distinguer de celles de l'espèce actuelle, et possèdent un caractère que l'on rencontre chez toutes les feuilles actuelles et fossiles de *P. tremula* : la présence de deux nervures de base opposées qui partent du point d'insertion du pétiole et remontent obliquement pour atteindre la marge au tiers (plus rarement à la moitié), environ, de celle-ci à partir du sommet (Grangeon, 1956) ; les feuilles ont 4-6 paires de nervures secondaires (Depape, 1922). Ces feuilles sont assez abondantes à Murat.

Salix sp. à feuilles étroites
(Pl. IX, fig. 8)

Le genre *Salix* est représenté à Murat par trois feuilles : i) un fragment de feuille de 4 cm de long sur 1 cm de large, pour laquelle manque la terminaison ainsi que l'extrême base et le pétiole ; son contour est entier et non finement denticulé comme chez la majorité des saules actuels ; les nervures secondaires remontent très longuement en camptodromie le long du bord du limbe ; ii) une feuille dont le limbe mesure 4,5 cm de long et 1 cm de large, avec un pétiole de 0,5 cm de long, terminée en pointe, les autres caractères étant identiques à la feuille précédente, iii) une feuille de 4,6x1 cm à nervation non visible.

Marty (1903) indique une feuille fossile qu'il rapporte à l'actuel *Salix alba* L., dont l'empreinte fossile a des bords rectilignes et non dentés. La plupart des feuilles de *Salix alba* sont en effet très finement dentées, mais la marge qui porte ces saillies est presque toujours un peu rebordée en dessous ; ainsi, la fossilisation peut masquer ce caractère. D'autre part, certaines feuilles du *S. alba* actuel sont à bord soit partiellement, soit complètement entier (Marty, 1903).

Parmi les saules fossiles mio-pliocènes à feuilles étroites cités dans la littérature, on peut noter : i) *Salix alba* L. *fossilis* (Marty, 1903 ; Depape, 1922 ; Laurent et Marty, 1927), ii) *Salix varians* Goep. (Marty, 1903) rapproché de l'actuel *S. fragilis* L., iii) *Salix acutissima* Goep. rapproché des actuels *S. fragilis* L. et *S. triandra* L., et réuni par Laurent et Marty (1923) à *S. varians* Goep. (Grangeon,

1956), iv) un *Salix sp.* rapproché de l'actuel *Salix x rubra* Huds. (hybride de *S. purpurea* L. x *S. viminalis* L.) (Grangeon, 1950), v) un *Salix sp.* (Brice, 1965).

Le faible nombre d'échantillons fossiles et leur état de conservation d'une part, les convergences de forme des feuilles des saules actuels d'autre part, ne permettent pas de spécifier les fossiles récoltés à Murat.

FABALES
FABACEAE (= LEGUMINOSAE)

Cercis sp. aff. Cercis siliquastrum Linné *fossilis*
(Pl. VII, fig. 6 et 7)

Les caractères essentiels des feuilles de *Cercis* sont les suivants : contour entier ; forme suborbiculaire, échancrée à la base ; nervation palmée rayonnante formée par trois nervures basilaires de chaque côté de la médiane, remontant plus ou moins parallèlement le long de la marge ; longueur et largeur sensiblement identiques. De nombreuses espèces actuelles de *Cercis* ont des feuilles presque identiques à celles de *C. siliquastrum* ; diverses espèces fossiles décrites dans la littérature sont aussi très proches (Grangeon, 1956).

L'une des feuilles récoltées à Murat est assez typique, l'autre rappelle le *Cercis antiqua* Saporta (Saporta, 1872-1873) mais avec une base cordiforme.

ROSALES
ROSACEAE

Crataegus sp.
(Pl. VII, fig. 10)

Nous avons trouvé une feuille de *Crataegus* longue de 11,5 cm (pétiole de 1 cm compris) et large de 5,3 cm, en coin et entière à la base, lobée à son extrémité, et simplement ou parfois doublement dentée avec environ 14 dents latérales et une terminant le limbe en pointe ; la nervation n'est malheureusement pas visible.

Roiron (1991) signale dans la diatomite de Murat une feuille de *Crataegus* qu'il rapproche de l'actuel *C. douglasii* Lindl. Tout comme Roiron (1991), nous n'avons pu examiner toutes les espèces actuelles de *Crataegus* qui sont très nombreuses ; mais notre feuille, bien que proche de celle de Roiron (1991), nous paraît différente de celles du *C. douglasii*. Chez les *Crataegus*, le polymorphisme foliaire est courant, mais on peut considérer que la forme elliptique rapproche notre feuille des séries Crus-Galli et Punctata (Durand, comm. pers.).

Prunus microdonta Boulay
(Pl. IX, fig. 1)

Le contour du limbe présente une denticulation en scie, serrée, formée de petites dents ; chaque nervure secondaire, bien avant d'atteindre la marge, rejoint la suivante par une bifurcation assez accentuée, puis elle se recourbe jusqu'à la marge où elle forme une série d'arceaux d'où s'échappent des nervures pour chaque dent (Grangeon, 1956).

Ce *Prunus* a été rapproché des espèces actuelles *Prunus mahaleb* L. par Boulay, et *Prunus graeca* Desfontaines par Grangeon ; il est différent, dans sa forme générale et sa denticulation, de l'espèce fossile *Prunus pereger* Ung. qui est rapprochée de l'actuel *Prunus avium* L. (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956). Mais Laurent (1904-1905) souligne que la famille des Rosacées est très fluctuante dans les groupes qui la composent et que les caractères tirés uniquement du système foliaire ne présentent rien de bien tranché et sont communs à la plupart de ces groupes, d'où les difficultés pour

assigner une place à un organe foliaire séparé et pour le comparer soit aux genres vivants, soit aux espèces fossiles encore plus mal délimitées que les premiers.

Seules deux feuilles attribuables au *P. microdonta*, mais fragmentaires et partiellement conservées, ont pu être récoltées dans la diatomite de Murat.

Par ailleurs, Roiron (1991) signale deux feuilles de *Prunus acuminata* Al. Br. dans la diatomite de Murat, qui se distinguent par leur sommet acuminé.

Rosa sp. cf. *Rosa californica* Chamisso & Schlechtendal
fossilis
(Pl. IX, fig. 7)

Roiron (1991) décrit et figure sous ce nom une feuille de la diatomite de Murat à limbe ovale et denté, avec une base aiguë, et 7 paires de nervures secondaires, parfois ramifiées, se terminant dans les dents aiguës, qu'il rapproche des folioles terminales de l'actuelle *Rosa californica* Cham. & Schlecht. Nous avons retrouvé une foliole de morphologie comparable, quoique de dimensions plus faibles : 14 mm de long sur 12 mm de large, plus un fragment de pétiole.

Sorbus aria (Linné) Crantz *fossilis*
(Pl. IX, fig. 12)

Marty (1903) a signalé pour la première fois cette espèce dans le Tertiaire dans le gisement de Joursac ; les feuilles fossiles sont identiques à celles de l'espèce actuelle. Les feuilles sont ovales irrégulièrement dentées, et les nervures secondaires souvent simples mais parfois bifurquées (Rameau et al., 1989). Cette espèce est rare à Murat.

ULMACEAE

Ulmus sp.
(Pl. X, fig. 4)

Les quelques samares récoltées dans la diatomite de Murat ne laissent pas voir de pédicelle (mais celui-ci n'a peut-être pas été conservé), et la graine apparaît en position plus ou moins centrale. Elles peuvent être rapprochées de *Ulmus procera* Salisb. (samares orbiculaires de 10 à 17 mm, à graine au-dessus du milieu de la samare), *Ulmus laevis* Pall. (samares longuement pédicellées à graine centrale), et diffèrent de *Ulmus glabra* Huds. (samare à graine centrale, mais de taille supérieure : 2 à 3 cm) et de *Ulmus minor* Mill. (samares de 1 à 1,5 cm, obovales à graine subsommitale tangente à l'échancrure de l'aile) (Rameau et al., 1989 et 1993).

Par ailleurs, Roiron (1991) rapproche des samares de la diatomite de Murat de l'actuelle espèce nord-américaine *Ulmus fulva* Michx.

Ulmus braunii Heer
(Pl. X, fig. 5)

Laurent (1904-1905) indique que l'on rencontre des difficultés considérables dans le classement des feuilles ayant appartenu aux *Ulmus*. Ainsi, les auteurs anciens ont souvent distingué deux espèces paléontologiques : *U. braunii* Heer et *U. effusa* Willd. *fossilis* (Laurent, 1904-1905 ; Laurent, 1908 ; Laurent et Marty, 1927, Grangeon, 1956). Par ailleurs, l'espèce fossile *Ulmus cocchii* Gaudin, rapprochée par Grangeon (1956) de l'actuel *Ulmus americana* L., n'est peut-être qu'une forme de l'actuel *Ulmus effusa* Willd. (Laurent, 1904-1905).

Ulmus braunii est une espèce paléontologique qui a une affinité certaine avec l'actuel *Ulmus campestris* L. dont il représente l'ancêtre,

ou plutôt la forme géologique, sans toutefois pouvoir s'identifier avec lui ; *U. campestris* présente des variations multiples, surtout sur les rejets, qui retracent chez l'espèce actuelle des particularités observées sur le fossile (Laurent, 1908 ; Depape, 1922 ; Bout et Marty, 1936 ; Grangeon, 1956 ; Brice, 1965).

Il convient cependant d'apporter quelques précisions sur la systématique des ormes indigènes ; en effet, Rameau et al. (1989 et 1993) retiennent les espèces actuelles suivantes :

Ulmus glabra Huds. (= *U. montana* With. = *U. scabra* Mill.) : grandes feuilles à limbe rétréci à la base, acuminé au sommet, généralement avec deux pointes latérales, et peu dissymétriques à la base ; s'hybride avec *U. minor* Mill., donnant *Ulmus x hollandica* aux caractères intermédiaires ;

Ulmus minor Mill. (= *U. campestris* L. pro parte = *U. vulgaris* Pall.) : feuilles doublement dentées, à nervures ramifiées et limbe dissymétrique à la base ; la systématique est controversée et confuse, du fait de l'existence de plusieurs formes (dont *U. minor* et *U. procera* Salisb.), mêlées avec leurs hybrides (et hybrides avec *U. glabra*) et avec de nombreux cultivars ;

Ulmus procera Salisb. (= *U. campestris* L. p. p.) : feuilles suborbiculaires à ovales, à limbe longuement arrondi à la base, avec 10-12 paires de nervures latérales ;

Ulmus laevis Pall. (= *U. effusa* Willd. = *U. pedunculata* Foug.) : feuilles ovales, très dissymétriques à la base, à dents recourbées vers le haut, et à nervures parallèles non ramifiées.

En conclusion, nous pensons que *Ulmus braunii* doit être tenu pour une espèce paléontologique collective comprenant les actuels *U. glabra*, *U. minor* et *U. procera* (ou leurs ancêtres) et leurs hybrides, tout au moins chaque fois que les caractères foliaires ne sont pas suffisamment nets pour les différencier.

Roiron (1991) avait rapproché des feuillés de Murat de l'*Ulmus campestris* L. Les feuilles fossiles de la diatomite de Murat que nous avons récoltées se rapprochent des espèces actuelles *U. minor* et *U. procera* (feuilles à nervures latérales ramifiées, à base dissymétrique, limbe avec absence de pointes latérales).

Ulmus sp. cf. *Ulmus fulva* Michaux *fossilis*
(Pl. X, fig. 6)

Roiron (1991) signale sous ce nom dans la diatomite de Murat des feuilles oblongues, dentées, à sommet acuminé et base asymétrique, possédant 15 ou 16 paires de nervures, certaines ramifiées, et plus étroites que celles d'*Ulmus campestris* L. ou d'*Ulmus laevis* Pall. ; il les rapproche de l'espèce actuelle nord-américaine *Ulmus fulva* Michx.

Nous avons retrouvé deux feuilles d'orme à sommet acuminé correspondant à cette description, mais il est aussi possible que certaines feuilles actuelles d'*Ulmus minor* Mill. présentent une acuminure du sommet.

Zelkova ungeri Kovats
(Pl. X, fig. 11, 12 et 13 ; Pl. VII, fig. 2)

Un caractère permet de distinguer nettement une feuille de *Zelkova* d'une feuille d'*Ulmus* ou de *Quercus*. Chez *Zelkova*, les nervures secondaires se dirigent d'abord vers le sinus placé en dessous de la dent marginale où elles se terminent, mais arrivées près de ce sinus elles se bifurquent, l'une des branches atteint le sommet de la dent dont elle borde la face externe et l'autre le sinus (Bout et Marty, 1936 ; Grangeon, 1950).

On a affaire à des feuilles un peu différentes les unes des autres, que l'on doit d'ailleurs ranger en séries ; à chacune de ces séries, correspondent une forme spéciale assez nette pour l'ensemble des échantillons, mais fluctuante et malaisée à définir quand on compare

les termes extrêmes de chacune d'elles (Marty, 1903 ; Laurent, 1905-1905 ; Grangeon, 1956). *Z. ungeri* est donc considéré comme une forme ancestrale et synthétique de races aujourd'hui disjointes, les actuels *Zelkova carpinifolia* (Pall.) K. Koch (= *Z. crenata* Spach) et *Zelkova serrata* (Thunb.) Mak. (= *Z. acuminata* Planchet), à moins que l'on n'admette la cohabitation de plusieurs espèces dans la plupart des gisements du Miocène supérieur (Marty, 1903 ; Depape, 1922). Deux types fossiles, assez fréquents à Murat, peuvent donc être distingués :

- *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. carpinifolia* (Pall.) K. Koch *fossilis* (Pl. X, fig. 11 et 12)

Les feuilles sont de forme plus ou moins ovale, à base arrondie, à sommet non acuminé, parcourues par 6 à 9 nervures secondaires simples ou bifurquées, qui aboutissent à un nombre égal de dents obtuses ou arrondies (Grangeon, 1956).

- *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. serrata* (Thunb.) Mak. *fossilis* (Pl. VII, fig. 2 ; Pl. X, fig. 13)

Se distingue de *Z. ungeri* aff. *Z. carpinifolia* par des formes plus allongées, à sommet parfois longuement acuminé, à base atténuée ou arrondie, parcourues par 10-13 paires de nervures secondaires qui aboutissent à des dents, en général plus aiguës que chez *Z. ungeri* aff. *Z. carpinifolia*, et mucronées. Si les formes bien typiques se distinguent facilement de celles de *Z. ungeri* aff. *Z. carpinifolia*, il n'en est pas de même des formes de *Z. ungeri* aff. *Z. serrata* qui ont une base arrondie ; cependant, chez ces dernières, le sommet est toujours plus allongé, et surtout, le nombre de nervures secondaires est constamment plus élevé (Grangeon, 1956).

CELTIDACEAE

Celtis australis Linné *fossilis* (Pl. VII, fig. 4)

Diverses espèces fossiles mio-pliocènes ont été décrites dans la littérature, notamment *Celtis auriculata* N. Boulay (Grangeon, 1956), *Celtis primigenia* Saporta (Laurent, 1908 ; Brice, 1965), *Celtis trachytica* Ettingshausen et *Celtis japeti* Unger (Marty, 1903), mais comme le fait remarquer Grangeon (1956) : par suite de la grande similitude que l'on rencontre dans les caractères foliaires des micocouliers actuels, il est bien difficile de dire avec certitude à quelle espèce vivante on peut rattacher les fossiles (Grangeon, 1956).

Une seule feuille mal conservée, dont manque le bord du limbe, l'extrême base et le pétiole, ainsi que le sommet, a été récoltée à Murat ; seule la nervation caractéristique du genre est bien visible. Cependant, Roiron (1991) avait déjà signalé le genre *Celtis* à Murat et avait rapporté ses fossiles à l'espèce *C. australis*.

FAGALES FAGACEAE

Fagus pliocenica Saporta (Pl. VIII, fig. 1)

Feuilles de forme ovale allongée ; bords du limbe entiers, ondulés, parfois avec des dents à peine amorcées dans laquelle la nervure pénètre en se courbant légèrement ; nervure médiane droite, régulièrement atténuée dans la partie supérieure du limbe ; les feuilles entières possèdent de 10 à 13 paires de nervures secondaires ; la plus grande largeur, sensiblement égale à la moitié du limbe, est atteinte un peu en dessous de la moitié de ce dernier (Grangeon, 1956). Depape (1922) cite cependant 9 à 11 paires de nervures secondaires. Selon Grangeon (1956), le nombre de nervures secondaires distingue cette espèce fossile du *Fagus silvatica* L. européen actuel, qui n'a que 7 à 9 paires de nervures secondaires.

Saporta (in Marty, 1903) considérait *Fagus pliocenica* comme intermédiaire entre les actuels *F. ferruginea* Ait., *F. crenata* Bl. (= *F. sieboldii* Endl.) et *F. silvatica* L. Le *F. pliocenica* a ensuite été rapproché de l'actuel *F. silvatica* (Marty, 1903 ; Laurent, 1908) et de l'actuel *F. orientalis* Lipsky (Depape, 1922). Laurent (1904-1905) considère que les hêtres peuvent être regroupés en deux types : un type nord-américain avec *F. ferruginea*, et un type eurasiatique avec *F. silvatica* (*F. crenata* au Japon) ; mais si jusqu'à un certain point, on peut reconnaître dans le Tertiaire d'Europe les types du *ferruginea* et du *silvatica*, les formes s'enchevêtrent de telle manière qu'il devient extrêmement difficile de fixer dans leurs limites précises certaines formes fossiles ; les feuilles du type *silvatica* européen, asiatique ou japonais ne présentent le plus souvent que 7 à 9 paires de nervures latérales, alors que le type *ferruginea* en a de 12 à 15 (Laurent, 1904-1905). Marty (1905) considère que le *F. pliocenica* est un *F. silvatica* par ses fruits, mais c'est une race plus polymorphe par ses feuilles, allant jusqu'au *F. ferruginea*. Laurent et Marty (1927) estiment aussi que *F. pliocenica* se rapproche plus du type eurasiatique que du type nord-américain. Bout & Marty (1936) considèrent ensuite *F. pliocenica* comme une forme polymorphe synthétique pour les espèces eurasiatiques *silvatica*, *orientalis* et *crenata*. Enfin, pour Grangeon (1956), les feuilles rappellent certains hêtres actuels de Chine (*F. longipetiolata* Seem., mais plus particulièrement *F. engleriana* Seem. & Diels), du Japon (*F. crenata*), du Turkestan (*F. orientalis*) et d'Amérique du Nord (*F. grandifolia* Ehr. = *F. americana* Sweet = *F. ferruginea* Ait. = *F. latifolia* Sudw.).

Bien que le *Fagus pliocenica* soit répandu dans les gisements pliocènes du Cantal, il est très rare à Murat ; seules deux feuilles (une mal conservée à 7-9 paires de nervures secondaires, et une autre incomplète) semblent pouvoir être rapportées à cette espèce ; la feuille figurée ici montre une (et une seule) nervure secondaire ramifiée vers le bas, ce qui peut faire douter de son attribution au genre *Fagus* ; cependant, certaines feuilles de l'actuel *F. silvatica* (dont un spécimen des Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand) peuvent présenter des nervures secondaires bifurquées à 1-1,5 cm de la marge du limbe, par émission d'une nervure tertiaire inférieure assez marquée. Le genre *Fagus* est par ailleurs signalé à Murat sous forme de pollens (Durand et Rey, 1964 ; Roiron, 1991).

Quercus hispanica Rérolle (Pl. IX, fig. 3 et 4)

Le polymorphisme foliaire est fréquent chez les chênes actuels et fossiles ; ainsi, nombre de feuilles fossiles ne répondent pas à une dénomination précise à cause d'un ensemble de caractères intermédiaires entre plusieurs espèces. De nombreux paléobotanistes ont adopté, pour désigner les empreintes foliaires de la section des chênes rouvres, le nom de *Quercus hispanica* Rér. L'espèce paléobotanique *Q. hispanica* Rér., à gamme foliaire très étendue, est un type synthétique qui peut être rapproché des espèces actuelles suivantes : *Quercus faginea* Lam. (= *Quercus lusitanica* Webb, et non sensu Lam. comme l'indiquent par erreur Grangeon, 1956 et Brice, 1965 ; l'actuel *Q. lusitanica* Lam. = *Q. fruticosa* Brot. = *Q. humilis* Lam. non Walt.), *Quercus canariensis* Willd. (= *Quercus mirbeckii* Durieu), et *Quercus petraea* (Mattus.) Liebl. (Marty, 1903 ; Depape, 1922), et aussi *Quercus mongolica* Fisch. ex Turcz. (Marty, in Piton et Théobald, 1935). Par ailleurs, l'actuel *Quercus robur* L. a souvent été compris au sens large par des auteurs anciens (Laurent, 1904-1905), et a pu regrouper en fait les espèces actuelles suivantes : le chêne pédonculé *Quercus robur* L. (= *Q. pedunculata* Ehrh.), le chêne sessile *Quercus petraea* (Mattus.) Liebl. (= *Q. sessiliflora* Salisb. = *Q. sessilis* Ehrh.), et le chêne pubescent *Quercus pubescens* Willd. (= *Q. lanuginosa* Thuill.) ; il existe par ailleurs des formes intermédiaires entre ces trois espèces, dues à une variabilité importante et à une hybridation, notamment avec le chêne pubescent (Rameau et al., 1989). L'espèce fossile *Q. senogalliensis* Mass. a par ailleurs été rapportée au *Q. petraea* (Marty, 1903 ; Laurent, 1904-1905).

Les feuilles de *Q. hispanica* sont assez abondantes dans la diatomite de Murat.

A noter aussi que l'espèce paléontologique *Q. hispanica* Rér. ne doit pas être confondue avec l'actuel *Q. x hispanica* Lam. qui est un hybride de *Q. cerris* L. et de *Q. robur* L.

Quercus sp. cf. *Quercus macranthera* Fischer & Meyer
fossilis
(Pl. IX, fig. 5 et 6)

Roiron (1991) décrit sous ce nom dans la diatomite de Murat des feuilles de grande taille (120 à 180 mm de long pour 50 à 100 mm de large, avec 9 à 11 paires de nervures qui s'incurvent et se terminent dans des lobes arrondis séparés par des sinus ouverts, parfois assez profonds ; ces échantillons sont voisins de feuilles fossiles nommées *Quercus senogalliensis* Mass., qui ont été rapprochées de l'actuel *Quercus petraea* (Mattus.) Liebl. dont les feuilles sont cependant plus petites et à 7-8 paires de nervures seulement. Roiron (1991) estime que ces feuilles fossiles entrent dans les variations de celles de l'actuel *Quercus macranthera* Fisch. & Mey. qui est une espèce collinéenne et montagnarde du Caucase et du Sud de la mer Caspienne.

Parmi nos échantillons, deux feuilles correspondent bien à cette description, tandis que d'autres, de morphologie proche, semblent plutôt entrer dans la variation de l'espèce fossile synthétique *Quercus hispanica* Rér. telle que décrite dans la littérature.

BETULACEAE

Alnus sp.
(Pl. VI, fig. 1)

Des fruits d'aulne (strobiles femelles) ont été décrits à plusieurs reprises dans la littérature. Depape (1922) cite des strobiles ressemblant à ceux d'*A. viridis* (Chaix) DC. actuel, d'autres à ceux d'*A. glutinosa* (L.) Gaertn. actuel, mais il indique aussi que les strobiles actuels d'*Alnus* présentent, au sein d'une même espèce, des variations considérables dans la forme et les dimensions. Laurent et Marty (1927) citent des strobiles d'*A. glutinosa, fossilis* Laur., et Grangeon (1950) des strobiles probablement d'*A. glutinosa*.

Roiron (1991) indique que les strobiles qu'il a récoltés à Murat ont la taille de ceux d'*A. glutinosa*. Dans le cas présent, les strobiles ont été récoltés dans des blocs où se trouvent fréquemment des feuilles d'*A. stenophylla* Sap. & Mar.

Alnus glutinosa (Linné) Gaertner *fossilis*
(Pl. VI, fig. 2)

Quelques feuilles sont à rapprocher de l'actuel aulne glutineux *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., déjà signalé à Murat par Roiron (1991).

Alnus kefersteinii Unger
(Pl. VI, fig. 3 et 4)

Feuille de forme ovale suborbiculaire, à base tronquée et subarrondie ; bord du limbe à dents régulières et peu profondes ; nervure médiane forte ; nervures secondaires bien marquées ; les nervures tertiaires courent d'une secondaire à l'autre, soit directement, soit en se bifurquant. Unger rapproche l'*A. kefersteinii* des actuels *A. serrulata* Willd. et *A. cordifolia* Ten. ; *A. serrulata* possède 9-10 paires de nervures secondaires ; chez *A. cordifolia*, les nervures secondaires forment avec la médiane des angles plus grands (Grangeon, 1956). Saporta (1891) rapproche l'*A. kefersteinii* des actuels *Alnus subcordata* C. A. Mey., *A. orientalis* Dcne et *A. maritima* (Marsh.) Muhl. ; il indique que l'*A. kefersteinii* possède souvent une douzaine de paires de nervures secondaires alors qu'il y en a 8-9 chez l'actuel *A. subcordata* ; sur ses figures, les nervures secondaires sont longuement ascendantes avec une concavité

marquée ; mais Saporta (1891) indique aussi que les feuilles fossiles présentent de très grandes diversités. Grangeon (1956) rapproche l'*A. kefersteinii* de l'actuel *A. tenuifolia* Nutt. qui a cependant une denticulation plus serrée.

Grangeon (1956) figure une autre empreinte de forme régulièrement oblongue, également atténuée vers les deux extrémités, à contour garni dès la base de dents subobtusées, bien marquées, conniventes, presque égales ; elle possède 9-10 paires de nervures secondaires régulièrement courbées et ascendantes, qui se terminent directement au sommet des dents principales, tandis que de petites ramifications rejoignent les deux ou trois dents intermédiaires ; les nervures tertiaires, parallèles entre elles, sont perpendiculaires aux secondaires. La forme générale et la denticulation rapprochent cette empreinte de l'*A. kefersteinii* var. *longifolia* de Heer, mais cette empreinte est plus régulièrement oblongue, plus atténuée vers la base et le sommet, et possède une paire de nervures secondaires de plus que l'*A. kefersteinii* var. *longifolia* ; Grangeon rapproche cette feuille de l'actuel *A. acuminata* H.B.K. du Mexique. Il faut cependant souligner que Saporta (1891) avait créé l'espèce *Alnus rostaniana* Sap., qu'il considérait proche de l'*A. kefersteinii*, mais qu'il avait aussi rapprochée de l'actuel *Alnus acuminata* H.B.K. ; sur les figures de Saporta (1891), l'*Alnus rostaniana* a 9-11 paires de nervures secondaires droites ou à concavité très peu marquée.

Par ailleurs, Heer a aussi décrit sous le nom d'*A. kefersteinii* des empreintes ressemblant à des feuilles de l'actuel *A. glutinosa* (L.) Gaertn. (Grangeon, 1956) ; Marty (1903) rapproche aussi une feuille d'*A. kefersteinii* de l'actuel *A. glutinosa*. Enfin, Marty (1903) rapporte à l'espèce fossile *A. insignis* N. Boulay, rapprochée de l'actuel *A. viridis* D.C. à base du limbe arrondie, des fragments de feuilles qui ne comportent pas la base du limbe et pourraient donc être aussi rapprochées de l'*A. kefersteinii*.

En conclusion, plusieurs fossiles du genre *Alnus* apparaissent assez mal définis, ce qui est dû à des convergences de forme que l'on retrouve dans diverses espèces actuelles d'aulne, et à une multiplication des espèces de forme fossiles par différents auteurs ; nous retenons donc l'*Alnus kefersteinii* comme une espèce synthétique et collective qui regroupe des feuilles de morphologies voisines et difficiles à différencier.

Les feuilles récoltées à Murat ont 8-10 paires de nervures secondaires fortement ascendantes et droites ou avec une concavité peu marquée, et ont une base atténuée ou à peine arrondie, voire un peu en coin, mais ni tronquée ni cordiforme ; elles se rapprochent donc de l'*A. kefersteinii* var. *longifolia* de Heer et de la feuille décrite par Grangeon (1956) et rappelée ci-dessus, et surtout de l'*Alnus rostaniana* Sap., que nous considérons comme synonymes.

Alnus stenophylla Saporta & Marion
(Pl. VI, fig. 5)

Synonymes : *Alnus hoernesi* Stur, *Alnus ducalis* (Gaudin) Knobloch (Roiron, 1991), *Alnus acutidens* N. Boulay (Depape, 1922).

La forme du limbe, très caractéristique, a été décrite par Depape (1922) : le caractère le plus frappant est la forme du sommet du limbe ; celui-ci est brusquement tronqué et présente une échancrure au fond de laquelle s'élève une dent triangulaire qui reçoit l'extrémité de la nervure principale. Pour le reste, le limbe est tantôt insensiblement atténué vers le pétiole, tantôt largement arrondi à la base ; parfois la feuille est presque rectangulaire ; les nervures secondaires sont au nombre de 5 à 7 paires. Bout et Marty (1936) indiquent aussi que la feuille a une forme deltoïde tronquée, avec exagération de l'allongement du limbe et de la truncature terminale comparativement aux feuilles de l'aulne actuel *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Saporta et Marion (in Depape, 1922) rapprochent l'*A. stenophylla* des actuels *A. maritima* (Marsh.) Muhl. et *A. orientalis* Dcne ; Boulay (in Depape, 1922) le rapproche de l'actuel *A. serrulata* Willd. d'Amérique du Nord ; enfin, Marty (1903) pense que l'*A.*

stenophylla est proche de l'*A. orientalis* Dcne actuel. Roiron (1991) indique que seules certaines feuilles actuelles d'*A. glutinosa* ou d'*A. rugosa* Spreng. présentent parfois un sommet légèrement échancré. Nous confirmons aussi l'observation de Depape (1922), qui indique que des feuilles d'*A. glutinosa* actuel ont une morphologie très proche.

Cette espèce est abondante dans la diatomite de Murat.

Betula macrophylla (Goeppert) Heer
(Pl. VI, fig. 7 et 8)

« Les feuilles des bouleaux actuels sont très polymorphes et l'on rencontre de nombreuses formes de passage entre deux espèces voisines, à tel point que, comme le note Marty (1903) : si l'on s'attachait à une forme vivante, il serait bien difficile de l'attribuer à une espèce plutôt qu'à une autre. Ces difficultés sont encore accrues pour les empreintes fossiles toujours plus ou moins mutilées, et à moins qu'elle ne soit basée sur de nombreux échantillons, une spécification d'un organe foliaire est toujours plus ou moins aléatoire. Nous rejoignons Laurent et Marty (1923) qui citent Saporta (1888) et, comme lui, pensent que les formes fossiles retracent deux types de bouleau, l'un asiatique et gravitant autour de *B. ulmifolia* (*B. bhojpathra*) et l'autre représentant pendant les périodes géologiques, notre type de bouleau blanc » (Grangeon, 1956).

Ainsi, les paléobotanistes ont distingué, selon les feuilles, deux bouleaux fossiles :

- *Betula subpubescens* Goeppert, ou groupe du *Betula alba* L. *fossilis* (voir paragraphe consacré à cette espèce ci-dessous) ;

- *Betula macrophylla* (Goeppert) Heer, auxquelles sont rattachées de nombreuses autres espèces de forme fossiles décrites dans la littérature, et rapproché d'un type asiatique, notamment des deux espèces actuelles *Betula utilis* D. Don (= *B. bhojpathra* Wall.) de l'Himalaya et du Cachemire, et *Betula grossa* Sieb. & Zucc. (= *B. ulmifolia* Sieb. & Zucc. = *B. carpinifolia* Sieb. & Zucc.) du Japon.

Betula macrophylla a des feuilles en général de grande taille ; de forme largement ovale, elles sont arrondies, tronquées ou légèrement émarginées à la base et ont un sommet brièvement acuminé. Les nervures secondaires, au nombre de 10 ou 11 paires, font un angle d'environ 60° avec la médiane ; elles sont en général opposées ou subopposées jusque vers le milieu du limbe ; parfois cependant, elles sont alternes. Les veines tertiaires sont transverses, fines, multipliées, légèrement courbes et réunies par de nombreuses anastomoses. Les bords sont doublement dentés à dents plus ou moins pointues, généralement étalées vers la base (Grangeon, 1956).

Cette espèce est fréquente dans la diatomite de Murat ; le limbe des feuilles peut atteindre près de 10 cm de longueur.

Betula subpubescens Goeppert
(Pl. VI, fig. 9)

Voir la discussion du genre *Betula* dans le paragraphe consacré au *Betula macrophylla* Heer.

Le *Betula subpubescens* Goeppert, ou groupe du *Betula alba* L. *fossilis*, est rapproché de l'actuel groupe de bouleaux de l'Eurasie au Nord de la chaîne alpo-himalayenne comprenant les espèces actuelles : *B. pubescens* Ehrh. (= *B. alba* L. p. p.), *B. pendula* Roth. (= *B. verrucosa* Ehrh. = *B. alba* L. p. p.), *B. pubescens* Ehrh. var. *carpatica* (Waldst. & Kit.) Koch, *B. fruticosa* Pall., *B. maximowicziana* Regel (Bout et Marty, 1936 ; Grangeon, 1956).

Les feuilles sont de petite taille, rhomboïdales-détoïdes, oblongues ou légèrement ovales-oblongues, subaiguës au sommet, à base plus ou moins souvent brièvement atténuée, parfois tronquée ou

subarrondie, avec 6-7 paires de nervures secondaires (Bout et Marty, 1936 ; Grangeon, 1956).

Cette espèce est rare à Murat.

Carpinus betulus Linné *fossilis*
(Pl. VI, fig. 11)

Différents fruits de morphologie semblable ont été figurés dans la littérature par Marty (1903) : *C. betulus* L. (syn. *C. grandis* Ung. p. p., espèce fossile), *C. pyramidalis* Heer ?, espèce fossile (mais « il faut voir plutôt dans ce fossile un fruit du *C. betulus* »), et par Grangeon (1950) : *C. betulus*. Ces différents auteurs, ainsi que Roiron (1991), rapportent donc tous ces fruits, qui sont assez fréquents à Murat, au *C. betulus* actuel.

Carpinus orientalis Miller *fossilis*
(Pl. VI, fig. 12)

Des fruits identiques à ceux de l'actuel *Carpinus orientalis* Mill. sont signalés par Roiron (1991) dans la diatomite de Murat ; nous n'avons pu trouver qu'une seule bractée foliacée.

La bractée paraît formée d'un seul lobe inéquilatéral, plus ou moins triangulaire, denté, avec 8 ou 9 nervures (Grangeon, 1956).

Carpinus suborientalis Saporta
(Pl. VI, fig. 13)

Laurent (1904-1905) propose des critères de distinction des différentes feuilles fossiles de *Carpinus* ; cependant, il retient la dénomination générale *C. suborientalis*. En effet, l'espèce *C. suborientalis* est une dénomination paléontologique synthétique englobant *C. pyramidalis* Goepp. fossile miocène, *C. orientalis* Mill. actuel et *C. betulus* L. actuel, et indique toutefois son affinité plus grande avec *C. orientalis*. Par ailleurs, les feuilles des *Carpinus* sont très polymorphes, et la distinction générique entre *Ostrya* et *Carpinus* est aussi extrêmement difficile à établir avec l'aide des seuls organes foliaires (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956). D'ailleurs, l'espèce fossile *C. pyramidalis* Heer regroupe en partie des feuilles de *C. grandis* Ung. (en partie syn. de *C. betulus* L.) et des feuilles d'*Ostrya atlantidis* Ung. (Marty, 1903).

Il faut cependant noter, comme le fait Roiron (1991), que seuls des fruits de *C. betulus* ou de *C. orientalis* ont été récoltés dans le gisement de diatomite de Murat ; aucun fruit d'*Ostrya* n'a été trouvé. Les feuilles de *C. suborientalis* sont fréquentes à Murat.

Corylus avellana Linné *fossilis*
(Pl. VII, fig. 8 et 9)

Parmi les fossiles mio-pliocènes du Cantal, Marty (1903) et Laurent (1908) rapportent certains spécimens au noisetier *Corylus avellana* L. actuel. Laurent (1908), discutant des différentes espèces fossiles et actuelles, précise d'ailleurs qu'il semble peut-être superflu d'aller chercher bien loin des termes de comparaison pour une espèce demeurée franchement indigène. *Corylus avellana* a des feuilles dentées suborbiculaires à base légèrement cordiforme ou formée par deux oreillettes assez accentuées ; plusieurs nervures secondaires (généralement les deux premières paires), droites, émettent dans leur moitié ou leur tiers supérieur, des nervures tertiaires inférieures qui vont rejoindre le bord du limbe au niveau d'une dent (Laurent, 1908 ; Rameau et al., 1993) ; ce dernier caractère est peu visible sur la figure du fossile récolté à Joursac par Marty (1903).

Le genre *Corylus* a aussi été signalé sous forme de pollens (Roiron, 1991), mais les feuilles sont rares à Murat.

MYRICACEAE

Myrica sp.
(Pl. VIII, fig. 8)

De très nombreuses espèces fossiles de *Myrica* ont été décrites dans le Tertiaire (voir par exemple Saporta, 1872-1873), jusque dans le Mio-Pliocène (Marty, 1912 ; Depape, 1922).

Dans la diatomite de Murat, a été récoltée une feuille oblongue elliptique, atténuée vers le pétiole (mais la base manque), à bord presque entier, possédant quelques petites dents espacées et peu marquées, dirigées vers le haut. Sa taille est de 4,3 cm de long (pour la partie conservée) sur 2 cm de large. La nervure médiane est bien marquée, les nervures secondaires sont au nombre d'environ 10 paires, remontant le long du bord du limbe (les inférieures assez longuement) en arceaux successifs ; les nervures tertiaires sont perpendiculaires aux secondaires et se confondent avec le réseau ultime à très petites mailles. Bien que la nervation soit bien conservée, la surface du limbe apparaît décapée sur sa plus grande partie, et les punctuations résineuses à la surface du limbe caractéristiques des *Myrica* n'apparaissent pas visibles, sauf peut-être très localement.

Le genre *Myrica* est aussi connu à l'état de pollens dans la diatomite de Murat (Roiron, 1991).

JUGLANDACEAE

Carya minor Saporta & Marion
(Pl. VII, fig. 1 et 2)

Les folioles de l'espèce fossile *C. minor* sont de forme ovale, elliptique ou obovale, quelquefois atténuées aux deux extrémités, lancéolées et acuminées au sommet, chez certains exemplaires. La forme et l'acuminure sont très variables. Les nervures secondaires se détachent de la médiane sous un angle de 70-80°. Le nombre moyen de folioles, très probablement de sept, les rapproche des actuels *C. tomentosa* Nutt., *C. ovata* K. Koch. (= *C. alba* Nutt.), *C. glabra* (Mill.) Sweet (= *C. porcina* Nutt.) ; la foliole terminale non pétiolée distingue *C. minor* de l'actuel *C. ovata* ; la nervation secondaire rappelle *C. tomentosa* (Grangeon, 1956). *C. minor* a aussi été rapproché de l'actuel *C. illinoensis* (Wangh.) K. Koch (= *C. oliviformis* Michx. = *C. pecan* Engl. & Graebn.) (Marty, 1903 ; Laurent, 1904-1905).

Des fossiles décrits antérieurement sous le genre *Pterocarya* sont sans doute des *Carya* et non des *Pterocarya* (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956). Ainsi, *Pterocarya denticulata* Heer rappelle l'actuel *Pterocarya fraxinifolia* (Lam.) Spach. (= *P. caucasica* C. A. Mey.) (Marty, 1903), mais la plupart des folioles de *P. denticulata* décrites dans la littérature appartiennent certainement à *Carya* (Laurent, 1904-1905). En effet, la forme des folioles et l'acuminure sont des caractères essentiellement variables au sein d'une même espèce de Juglandacée, et la forme et la taille des folioles ne permettent nullement de séparer les deux genres *Carya* et *Pterocarya* (Grangeon, 1956). Cependant, chez *Pterocarya*, le nombre des folioles n'est jamais inférieur à 11 et chez certaines espèces peut même atteindre 25, tandis que chez la plupart des espèces de *Carya* il oscille entre 7 et 9 folioles (Grangeon, 1956).

Grangeon (1956) discute de la nervation chez *Carya* et *Pterocarya*. Laurent (1904-1905) indique que, chez le *Pterocarya caucasica* fossile, les folioles sont opposées, à base inéquilatérale comme dans l'espèce actuelle, ce qui force les nervures secondaires à avoir une ascendance plus marquée d'un côté que de l'autre ; les folioles ont 9-12 paires de nervures secondaires, alors que ce nombre est plus élevé chez *Carya*, et le réseau tertiaire dessine des espaces pentagonaux alternes. Depape (1922) indique i) chez *Pterocarya* une dizaine de paires de nervures secondaires, les nervilles tertiaires

délimitant assez irrégulièrement des espaces polygonaux alternes, et ii) chez *Carya minor* 12-15 nervures secondaires, les nervilles tertiaires étant flexueuses, rarement parallèles et peu distinctes du réseau ultime à mailles très petites. Brice (1965) indique aussi que des folioles de *Carya minor*, à base brièvement atténuée et fortement acuminées, ont 18 paires de nervures secondaires bifurquant à un demi-centimètre du bord du limbe, les ramifications s'anastomosant avec les branches issues des nervures secondaires voisines. Roiron (1991) indique 20 à 22 paires de nervures pour des folioles de Murat.

Enfin, chez *Carya minor*, les nervures se bifurquent et s'anastomosent les unes aux autres presque dès leur arrivée à la marge, alors que chez l'actuel noyer noir d'Amérique *Juglans nigra* L., elles se replient en arceaux pour remonter assez longuement au bord de la marge (Marty, 1903).

Le *Carya minor* a été récolté assez fréquemment à Murat, essentiellement sous forme de folioles isolées, la plus développée et surtout la plus large atteignant 12,5 cm de long sur 7,5 cm de large, la majorité ne dépassant pas 2,5 cm de large ; une feuille complète à 7 folioles, et deux autres incomplètes à 4 folioles, ont aussi été trouvées.

Juglans regia Linné fossilis
(Pl. VIII, fig. 6)

Folioles en tous points identiques à celles de l'actuel noyer commun *Juglans regia* L. (Grangeon, 1956 ; Brice, 1965). Laurent (1904-1905) pense que les espèces de *Juglans* fossiles, que l'on a beaucoup trop multipliées, ne représentent que les variations d'un même individu ; ainsi, l'espèce fossile *J. acuminata* Al. Br. est identique à l'actuel *J. regia* (Boulay, 1892 in Brice, 1965 ; Marty, 1903 ; Heer, in Grangeon, 1956).

Pterocarya denticulata Heer
(Pl. IX, fig. 2)

Voir la discussion de cette espèce dans le paragraphe consacré au *Carya minor* Saporta & Marion.

De petites folioles récoltées à Murat, assez symétriques, atteignant 3,7 cm de long et 1,9 cm de large, et possédant 8-9 paires de nervures secondaires, sont rapportées à cette espèce avec un point de doute. On peut cependant remarquer que le genre *Pterocarya* a été reconnu dans les analyses polliniques de la diatomite de Murat (Durand et Rey, 1964).

MALVALES
MALVACEAE (y compris TILIACEAE et STERCULIACEAE)

Buettneria tiliaefolia (Al. Braun) Depape
(Pl. VI, fig. 10)

La diagnose de cette sterculiacée a été établie par Depape (1922). Feuille plus ou moins asymétrique, échancrée auriculée à la base, à bord entier et sommet atténué en pointe courte. Le pétiole épais aboutit à une espèce d'écusson d'où rayonnent 9 nervures primaires ; de la principale s'élèvent, suivant un angle d'environ 45°, 5-6 nervures secondaires parallèles jusqu'à faible distance de la marge où elles se réunissent en arceaux réguliers. Les deux nervures primaires inférieures de chaque côté du limbe sont très courtes et non ramifiées ; les autres – du côté inférieur seulement et sans que leur direction en soit sensiblement modifiée, sans apparence de dichotomisation – produisent suivant un angle d'environ 45° des secondaires qui, en se recourbant près de la marge, forment une série d'arceaux semblables à ceux de la partie supérieure du limbe. Les nervures tertiaires, envisagées dans leur ensemble, décrivent de nombreux cercles concentriques, ayant comme centre l'écusson de base ; elles dessinent, avec les primaires et les secondaires, un réseau qui a l'aspect d'une toile d'araignée. Si l'on considère l'intervalle de

deux secondaires, celles-ci ressemblent aux deux montants d'une échelle, réunis par un grand nombre de rayons rapprochés, parallèles, un peu arqués, rarement bifurqués. L'espace rectangulaire délimité par deux tertiaires est parcouru par des nervilles qui les découpent en espaces rarement rectangulaires, plus souvent pentagonaux et alternes, divisés à leur tour en petites mailles polygonales (Depape, 1922).

Le *Buettneria tiliaefolia* a été rapproché de l'actuel *Buettneria aspera* Colebr. d'Extrême-Orient. Il a été placé en synonymie avec d'autres fossiles, dont le *Ficus tiliaefolia* Al. Br. pro parte (Depape, 1922) ; d'autres feuilles du *Ficus tiliaefolia* Al. Br. ont par ailleurs été rapprochées du *Paulownia europaea* Laurent (Laurent, 1904-1905 ; Depape, 1922). Les feuilles du *Paulownia europaea* diffèrent notamment par : i) une nervure médiane droite et très épaisse ; ii) des nervures primaires basilaires qui remplissent les lobes, courent à la marge en donnant naissance à leur partie inférieure à de nombreuses nervures secondaires et ne présentent pas un trajet strictement rectiligne ; le plus souvent au contraire, à chaque branche secondaire, il se produit un déjètement de la nervure principale qui peut être souvent assez prononcé pour simuler une dichotomisation ; iii) les nervures secondaires émettent des branches anastomotiques dichotomes qui se réunissent tout près de la marge, sans l'atteindre, au moyen d'arceaux qui soudent entre elles les différentes dichotomisations ; iv) les nervures tertiaires sont assez fortes et assez espacées (Laurent, 1904-1905 ; Depape, 1922).

Une unique feuille récoltée à Murat répond à la diagnose du *Buettneria tiliaefolia* ; elle est incomplète, mesure plus de 17 cm de largeur ; on peut remarquer que la nervure primaire la plus inférieure de chaque côté du limbe est plus fine que les autres primaires et longe le bord du limbe à très faible distance de celui-ci ; elle pourrait donc passer inaperçue sur une feuille mal conservée.

Dombeyopsis lobata Unger
(Pl. VII, fig. 11 et 12)

Roiron (1991) signale cette sterculiacée dans la diatomite de Murat, sous la forme de grandes feuilles arrondies ou lobées ; le limbe, long de 80 à 200 mm et large de 80 à 200 mm, possède une base cordée symétrique et un sommet obtus ; les 5 à 7 nervures basales portent de nombreuses nervures secondaires qui se ramifient une à deux fois, puis se rejoignent en arcs fins près des bords ; outre les ramifications qui vont vers le bas des lobes, les nervures latérales portent aussi quelques ramifications se dirigeant vers la partie supérieure de ces lobes ; le réseau tertiaire est plus ou moins perpendiculaire aux secondaires, ce qui lui confère souvent un aspect en toile d'araignée ; le pétiole a plus de 70 mm de long ; enfin, la plupart des échantillons possèdent des poils étoilés. Seules certaines espèces des genres actuels *Dombeya* et *Paulownia* semblent comparables, ainsi que l'espèce fossile *Paulownia europaea* Laurent. Certains spécimens trilobés de Murat sont identiques à des empreintes fossiles baptisées d'abord *Ficus tiliaefolia* Al. Br. puis nommées *Dombeyopsis lobata* Ung., mais il semble qu'aucune correspondance ne peut être établie entre les grandes feuilles de Murat et une espèce actuelle (Roiron, 1991).

Nous rapportons donc à cette espèce deux feuilles incomplètes de Murat qui présentent de légères différences (dont l'absence de nervures principales basilaires en marge des lobes inférieurs) avec celle rapportée au *Buettneria tiliaefolia* (Al. Br.) Depape (voir le paragraphe consacré à cette espèce) ; l'une des deux feuilles récoltées à Murat a une hauteur d'environ 10 cm, une demi-largeur d'environ 6 cm, et un pétiole de longueur supérieure à 5 cm (pour la seule partie conservée).

Cependant, il faut souligner que plusieurs formes paléontologiques, en particulier *Dombeyopsis grandifolia* Ung. et *Dombeyopsis aequalifolia* Goepfert ont été placées en synonymie avec le *Ficus tiliaefolia* Al. Br. (Depape, 1922). Laurent (1904-1905) pense aussi qu'on peut rapporter au *Ficus tiliaefolia* les feuilles dénommées *Dombeyopsis tiliaefolia* Ung., *Dombeyopsis sidaefolia*

Ung. et *Dombeyopsis lobata* Ung. Par ailleurs, le *Ficus tiliaefolia* Al. Br. a été démembré en *Paulownia europaea* Laurent d'une part, et en *Buettneria tiliaefolia* (Al. Br.) Depape d'autre part (Laurent, 1904-1905 ; Depape, 1922). Par conséquent, il faut considérer que :

soit le *Dombeyopsis lobata* est synonyme du *Buettneria tiliaefolia*, ou moins probablement du *Paulownia europaea* puisque Roiron (1991) indique que la face inférieure du limbe de l'actuel *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud (= *Paulownia imperialis* Sieb. & Zucc.) est couverte de longs poils non ramifiés ;

soit existaient au mio-pliocène plusieurs espèces de Sterculiacées dont les caractéristiques et la nomenclature mériteraient d'être précisées.

Tilia sp.
(Pl. X, fig. 1)

Deux bractées florales incomplètes, ne permettant pas de situer le point d'insertion du pédoncule floral, ont été récoltées dans la diatomite de Murat ; sur l'une manque la base et sur l'autre la terminaison.

Roiron (1991) rapproche une bractée de la diatomite de Murat de l'actuel *Tilia tomentosa* Moench.

Tilia tomentosa Moench *fossilis*
(Pl. X, fig. 2 et 3)

Grangeon (1956) souligne qu'il est difficile de conclure à une identité parfaite entre une empreinte foliaire fossile et les feuilles d'une espèce vivante de tilleul, car les feuilles du genre *Tilia* présentent de nombreuses convergences de forme. Roiron (1991) rapproche cependant les feuilles de la diatomite de Murat de l'actuel *Tilia tomentosa* Moench.

Les feuilles de Murat, peu fréquentes, ont un contour uniformément denticulé, une base cordiforme, une forme suborbiculaire, et un pétiole déjeté sur le côté comme dans de nombreuses feuilles mortes des tilleuls actuels ; de la base du pétiole se détachent, outre la principale en position médiane, 4 (plus rarement 3) nervures basilaires.

SAPINDALES
MELIACEAE

Cedrela sp.
(Pl. VII, fig. 3)

Saporta (1888-1889) décrit et figure plusieurs graines sous le nom de genre *Cedrelospermum*, qu'il attribue en partie au genre actuel *Cedrela* : graines surmontées par une aile membraneuse, le nucleus se prolongeant d'un côté en un raphé marginal le long du côté dorsal de l'aile. Nous avons récolté une graine de ce type dans la diatomite de Murat, de forme générale elliptique, d'une longueur totale de 12 mm et d'environ 5 mm de large ; la nervation de l'aile n'étant pas visible, il est impossible d'effectuer un rapprochement plus précis avec les différentes espèces décrites par Saporta.

De son côté, Roiron (1991) a identifié le genre *Cedrela* à Murat par ses folioles.

SAPINDACEAE (y compris ACERACEAE)

Acer sp.
(Pl. V, fig. 15 et 16)

Bien que n'ayant pas été trouvées en connexion avec d'autres organes, des samares fossiles d'érable ont été attribuées dans la littérature à diverses espèces : *A. campestre* L., *A. monspessulanum* L., tous deux actuels (Grangeon, 1956), *A. trilobatum* Al. Braun, *A. decipiens* Al. Braun, *A. laetum pliocenicum* Saporta & Marion, tous trois fossiles (Marty, 1903), *A. palmatum* Thunb. actuel et *A. opulifolium pliocenicum* Saporta & Marion fossile (Laurent, 1904-1905).

Roiron (1991) classe des samares récoltées dans la diatomite de Murat en 5 groupes qu'il rapproche d'*Acer cappadocicum* Gleditsch. (= *A. laetum* C. A. Mey.), *Acer opalus* Mill. (= *A. opulifolium* Vill.), *Acer pictum* Thunb., *Acer platanoides* L., et un groupe non spécifié.

Les samares assez fréquentes que nous avons récoltées dans la diatomite de Murat ne correspondent pas à la figuration de celles d'*A. palmatum* ou d'*A. opulifolium pliocenicum* (Laurent, 1904-1905), mais il est impossible de trancher pour ce qui concerne les autres espèces, notamment en l'absence de connexion avec des organes foliaires. On peut cependant remarquer que ces samares ont été récoltées dans les couches où l'on trouve fréquemment des feuilles fossiles d'*Acer laetum pliocenicum* Saporta & Marion (cf. ci-dessous).

Acer decipiens Al. Braun
(Pl. V, fig. 17)

Les feuilles sont trilobées ; les lobes sont généralement larges à leur base, à peu près égaux et très divergents entre eux, et plus ou moins longuement et brusquement acuminés (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956 ; Brice, 1965).

Marty (1905) et Depape (1922) rapprochent *A. decipiens* des feuilles trilobées du groupe de l'actuel *A. cappadocicum* Gleditsch. (= *A. laetum* C.A. Mey.). Grangeon (1956) le rapproche de l'actuel *A. longipes* Franchet, et de l'actuel *A. cappadocicum*, mais ce dernier possède des feuilles à 5 lobes en général (mais de petites feuilles ont 3 lobes).

A noter aussi, et ce qui n'est pas le cas des feuilles fossiles trouvées dans la diatomite de Murat, que i) des formes d'*A. decipiens* décrites dans la littérature se rattachent à l'actuel *A. monspessulanum* L. (Grangeon, 1956), ii) l'espèce fossile *A. integrilobum* Weber, à lobes très inégaux et faisant entre eux un angle aigu, peut être rapprochée d'*A. decipiens* (Laurent, 1904-1905 ; Depape, 1922).

Acer laetum pliocenicum Saporta & Marion
(Pl. V, fig. 18)

Synonyme : *Acer integerrimum* (Viv.) Mass. (Roiron, 1991).

Feuilles à 5 lobes et à bords entiers rapprochées de l'actuel *Acer cappadocicum* Gleditsch. (= *Acer laetum* C. A. Mey.) du Caucase et de l'Asie mineure ; les *A. pictum* Thunb. du Japon, *A. cultratum* Wall. de l'Himalaya, et *A. colchicum* Hart. du Caucase ne sont considérés que comme des races du groupe de l'*A. cappadocicum*, à feuilles 7-, 5- ou 3-lobées ; ainsi *A. pictum* présente généralement des feuilles trilobées, celles à 5 lobes étant plutôt l'exception (Laurent, 1904-1905 ; Marty, 1905 ; Depape, 1922).

L'espèce fossile *A. decipiens* Al. Braun, à feuilles trilobées, a aussi été rapprochée du groupe de l'actuel *A. cappadocicum* (cf. ci-dessus).

Cette espèce est assez fréquente à Murat, et parmi les feuilles 5-lobées récoltées, l'une a trois lobes bien marqués et deux lobes inférieurs très réduits ; une autre a cinq lobes, avec l'amorce de deux lobes inférieurs supplémentaires.

Acer palmatum Thunberg *fossilis*
(Pl. V fig. 19 et 14)

Forme fossile synonyme : *Acer sanctae-crucis* Stur (Roiron, 1991).

Cette espèce polymorphe (d'où son ancien nom d'*Acer polymorphum* Sieb. & Zucc.) se rencontre dans les gisements fossiles où elle a été signalée avec les caractères essentiels qu'on lui connaît dans la nature actuelle (Laurent, 1904-1905 ; Laurent, 1908) ; cette section des Acéracées est représentée par quelques espèces actuelles seulement, très proches les unes des autres (Laurent, 1904-1905), l'actuel *A. palmatum* Thunb. habitant le Japon et la Corée.

Les feuilles de la diatomite de Murat ont des lobes un peu renflés dans leur milieu, au nombre de 6 ou 7 ; un ou deux lobes inférieurs peuvent être très peu développés par rapport aux autres ; le plus grand lobe peut atteindre 6 centimètres de long sur 2 centimètres de large ; la marge du limbe présente de petites dents aiguës dirigées vers le sommet du lobe.

Acer platanoides Linné *fossilis*
(Pl. V, fig. 20)

Une seule feuille mal conservée a pu être rapprochée de l'actuel érable plane *Acer platanoides* L., déjà signalé à Murat par Roiron (1991).

Acer pseudocampestre Unger

Espèce fossile rattachée à l'actuel érable champêtre *Acer campestre* L. (Grangeon, 1956 ; Brice, 1965), citée à Murat sous ce dernier nom par Roiron (1991).

Nous n'avons trouvé aucune feuille de cette espèce, mais une empreinte provenant de la diatomite de Murat, et récoltée avant 1984, nous a été donnée.

Sapindus falcifolius Al. Braun
(Pl. IX, fig. 9 et 10)

Limbe en forme de faux, à base plus ou moins dissymétrique, traversé par une nervure médiane forte et courbe d'où s'échappent 12-14 paires de nervures secondaires (parfois 9-10) qui se réunissent par camptodromie, remontent le long de la marge et se confondent finalement avec le limbe ; entre elles, on remarque parfois des nervures intercalaires qui, d'abord parallèles aux secondaires, ne tardent pas à rejoindre des nervilles tertiaires ; ces dernières, visibles seulement par places, forment des mailles polygonales assez lâches, qui délimitent un réseau ultime très serré (Laurent, 1904-1905 ; Grangeon, 1956).

S. falcifolius se distingue de l'espèce fossile *S. bilincus* Ettingshausen qui a un limbe ovale, symétrique, avec une nervure médiane droite d'où partent 11-12 paires de nervures secondaires.

S. falcifolius a été comparé à plusieurs espèces actuelles : *S. marginatus* Willd. d'Amérique centrale et du Sud des U.S.A., *S. mukorossi* Gaertn. de Chine et d'Indochine, *S. delavayi* Franchet de Chine, *S. drummondii* Hook & Arn. du Sud-Ouest des U.S.A. et du Mexique (Grangeon, 1956), ou peut encore être rapproché du *S. saponaria* L. du Tonkin.

Une des folioles récoltées à Murat, de 10 cm de long sur 3 cm de large avec un court pétiole de 3 mm, présente une base dissymétrique arrondie et un sommet assez longuement rétréci, et rappelle aussi l'espèce fossile *Sapindus drepanophyllus* Sap. de l'Aquitainien (Saporta, 1872-1873). Le nombre des nervures secondaires peut

atteindre une vingtaine de paires, pour la plus grande foliole récoltée à Murat (14 cm de long sur 3 cm de large).

LAMIALES
OLEACEAE

Fraxinus sp.
(Pl. VIII, fig. 2)

Une feuille unique dont seule la partie médiane est conservée, mais de fossilisation assez mauvaise, a été récoltée à Murat et peut être rapportée au genre *Fraxinus*. Elle présente 6 folioles asymétriques à la base, avec un pétiole de 3 à 4 mm, par paires opposées, la terminale manquant; la partie supérieure des folioles n'est pas conservée; sur les rares parties visibles, le bord du limbe apparaît entier; la nervation n'est que partiellement visible, et le réseau tertiaire se confond avec le réseau ultime.

Ce fossile peut être rapproché peut-être du *Fraxinus ornus* L., qui a des folioles de forme ovale-oblongue, subarrondies, un peu asymétriques à la base, brièvement pétiolo-lobulées; la denticulation du contour du limbe est très peu accentuée et indécise; les nervures secondaires se recourbent, deviennent ascendantes et remontent très près du bord puis s'anastomosent avec la paire suivante (Grangeon, 1956).

AQUIFOLIALES
AQUIFOLIACEAE

Ilex sp.
(Pl. VIII, fig. 4 et 5)

Roiron (1991) signale dans la diatomite de Murat des feuilles dentées d'un *Ilex* sp. aff. *I. cornuta* Lindl. & Paxt. (espèce chinoise actuelle), longues de 40 à 60 mm et larges de 20 à 35 mm, à marge épaisse, base large et sommet triangulaire terminé par une dent aiguë; chaque feuille possède généralement deux paires de dents épineuses; certaines ont un pétiole court et large; les 6 à 7 paires de nervures secondaires se rejoignent en arcs et les nervures tertiaires forment un réseau polygonal.

D'autres feuilles de Murat semblent aussi se rapprocher de l'actuel *Ilex aquifolium* L. D'ailleurs, parmi les houx fossiles miopliocènes du Cantal de morphologie voisine, un *Ilex* cf. *I. aquifolium* L. a été signalé par Laurent et Marty (1927), de même qu'un *Ilex boulei* Saporta, considéré comme une variété de l'*Ilex aquifolium* actuel, et décrit comme portant un champignon parasite du genre « *Phyllosticta* » (*Phyllosticta* en fait), qui n'existe plus sur les *Ilex* européens mais a été observé sur des *Ilex* chinois (Laurent, 1904-1905; Laurent, 1908).

Nous suggérons donc de conserver la dénomination *I. boulei* pour ces houx fossiles miopliocènes de morphologie voisine de l'actuel *I. aquifolium*, mais pouvant aussi recouvrir d'autres espèces euro-asiatiques.

APIALES
APIACEAE (= UMBELLIFERAE; y compris ARALIACEAE)

Hedera helix Linné fossilis
(Pl. VIII, fig. 3)

Une seule feuille a été récoltée à Murat: elle est entière, ovale, presque losangique, et acuminée, ce qui correspond à la morphologie des feuilles de rameau florifère de lumière de l'actuel lierre *Hedera helix* L., déjà signalée par Marty (1905), et à une feuille récoltée à Murat par Roiron (1991). Sa nervation est aussi caractéristique: de

chaque côté de la nervure principale médiane partent 3 nervures secondaires qui prennent naissance au point d'insertion du pétiole sur le limbe, puis se dichotomisent ou se ramifient en éventail. Cette feuille mesure 7,7 cm de long sur 3,2 cm de large, le bord du limbe manquant par places; le pétiole, pour sa partie conservée, mesure 0,7 cm de long.

Laurent (1908) indique que les feuilles fossiles ne présentent aucune particularité qui permette de les séparer de l'espèce actuellement vivante. Le réseau veineux présente une assez grande constance malgré des différences dans la forme; les nervures de base sont au nombre de 3 à 7 et s'étalent plus ou moins en forme d'éventail suivant l'ampleur du limbe; la variation du nombre de nervures est fonction de l'ampleur du limbe, et la nervation, en ce qui concerne ses traits essentiels, demeure constante malgré le polymorphisme de la feuille. Grangeon (1956) précise que le genre est présent depuis le Crétacé jusqu'au Villafranchien, et que notre lierre est fixé dans ses traits actuels dès l'Éocène.

Autres Angiospermes Dicotylédones signalées à Murat par
Roiron (1991)

Acer opalus Mill. (= *A. opulifolium* Vill.) fossilis (Acéracées) [feuille; samare];

Acer tricuspidatum Bronn (= *Acer trilobatum* Al. Br.) (Acéracées) [feuille];

Alnus viridis DC. fossilis (Bétulacées) [feuille];

Phellodendron sp. cf. *P. amurense* Rupr. fossilis (Rutacées) [foliole];

cf. *Photinia* (Rosacées) [feuille];

Prunus acuminata Al. Br. (Rosacées) [feuille];

Quercus kubinyi (Kov.) Berger (= *Castanea kubinyi* Kov.) (Fagacées) [feuille].

IV. — REPARTITION STRATIGRAPHIQUE DES
ESPECES

La macroflore fossile a soit été récoltée dans les déblais de l'exploitation, soit a pu être échantillonnée en place, et se répartit comme indiqué dans le tableau II. Au total, environ 420 spécimens d'assez bonne conservation ont pu être collectés, représentant 70 formes fossiles: 2 de Ptéridophytes, 10 de Gymnospermes, 2 d'Angiospermes Monocotylédones et 56 d'Angiospermes Dicotylédones. Le niveau moyen supérieur de la carrière apparaît le plus riche, tant du point de vue du nombre de spécimens collectés que du nombre d'espèces; au contraire, le niveau supérieur, immédiatement sous la moraine de recouvrement, est très pauvre, ne livrant que des cônes souvent pyritisés de *Picea* et d'*Abies* ou *Cedrus*, tout au moins dans la partie de l'exploitation inventoriée. Quant au niveau inférieur, l'échantillonnage n'a pu y être que sporadique en fonction de l'avancement de l'exploitation.

On peut remarquer que des genres fossiles identifiés par analyses polliniques n'ont pour l'instant pas été identifiés à l'état de macrofossiles; il s'agit des genres *Castanea*, *Larix*, *Liquidambar*, *Nyssa*, *Sciadopitys*, *Taxodium*, *Tsuga*. Par contre, la macroflore révèle une diversité floristique bien plus importante que ne le laissent supposer les analyses polliniques.

Complétant le premier inventaire de la macroflore de la diatomite de Murat effectué par Roiron (1991), notre propre inventaire porte le nombre total d'espèces identifiées à Murat

Formes fossiles récoltées	Niveaux d'échantillonnage			
	Déblais	Niveau inférieur	Niveau moyen supérieur	Niveau supérieur
Ptéridophytes				
<i>Asplenium viride</i> Huds. <i>fossilis</i> (penne avec pinnules)		1		
<i>Equisetum</i> sp. (tige)			1	
Gymnospermes				
<i>Abies</i> sp. ? ou <i>Cedrus</i> sp. ? (base de cône)				2
<i>Abies ramesi</i> Saporta (aiguille isolée)			7	
<i>Cedrus miocenica</i> Lauby (graine)	1 + 1 aile		1	
<i>Cedrus miocenica</i> Lauby (écaille de cône femelle)			2	
<i>Cedrus miocenica</i> Lauby (chaton mâle)			2	
<i>Cedrus miocenica</i> Lauby (rameau défeuillé)			1	
<i>Juniperus</i> sp. section <i>sabina</i> (rameau)			5	
<i>Picea</i> sp. (graine)	2	3	20	
<i>Picea</i> sp. (cône femelle)			1	8 + 5 ?
<i>Pinus</i> sp. (graine)	2			
Angiospermes Monocotylédones				
<i>Bambusa lugdunensis</i> Saporta & Marion (feuille)	1	1	3	
<i>Potamogeton</i> sp. ? (feuille)		1		
Angiospermes Dicotylédones				
<i>Acer</i> sp. (samare)	3		11	
<i>Acer decipiens</i> Al. Braun (feuille)	1		1	
<i>Acer laetum pliocenicum</i> Saporta & Marion (feuille)	4	6	12	
<i>Acer palmatum</i> Thunberg <i>fossilis</i> (feuille)	2	1	5	
<i>Acer platanoides</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	1			
<i>Acer pseudocampêtre</i> Unger (feuille)	1			
<i>Alnus</i> sp. (strobile femelle)	6	1		
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. <i>fossilis</i> (feuille)	4		1	
<i>Alnus kefersteini</i> Unger (feuille)			6 + 1 ?	
<i>Alnus stenophylla</i> Saporta & Marion (feuille)	21	8	2	
<i>Berberis</i> sp. (feuille)		1		
<i>Betula macrophylla</i> (Goep.) Heer (feuille)	9 + 1 ?	3	6 + 3 ?	
<i>Betula subpubescens</i> Goeppert (feuille)	1	1 + 1 ?		
<i>Buettneria tiliaefolia</i> (Al. Br.) Depape (feuille)			1	
<i>Carpinus betulus</i> L. <i>fossilis</i> (fruit)			12	
<i>Carpinus orientalis</i> Mill. <i>fossilis</i> (fruit)	1			
<i>Carpinus suborientalis</i> Saporta (feuille)	4	4	20	
<i>Carya minor</i> Saporta & Marion (feuille ; foliole)	3		16	
<i>Cedrela</i> sp. (graine)			1	
<i>Celtis australis</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)			1	
<i>Ceratophyllum demersum</i> L. <i>fossilis</i> (tige feuillée)	1		4	
<i>Cercis</i> aff. <i>Cercis siliquastrum</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)			2	
<i>Corylus avellana</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	2 + 1 ?	1		
<i>Crataegus</i> sp. (feuille)	1			
<i>Dombeyopsis lobata</i> Unger (feuille)		1	1 + 1 ?	
<i>Fagus pliocenica</i> Saporta (feuille)			2	
<i>Fraxinus</i> sp. (feuille)			1	
<i>Hedera helix</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)			1	
<i>Ilex</i> sp. (feuille)	1		6	
<i>Juglans regia</i> L. <i>fossilis</i> (foliole)	5		3	
<i>Laurus azorica</i> (Seub.) J. Franco <i>fossilis</i> (feuille)			4 + 1 ?	
<i>Myrica</i> sp. (feuille)		1		
<i>Persea indica</i> Spr. <i>fossilis</i> (feuille)		1		
<i>Populus alba</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	1			
<i>Populus x canescens</i> (Ait.) Sm. <i>fossilis</i> (feuille)			1	
<i>Populus nigra</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	1			
<i>Populus tremula</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	7	2	3	
<i>Prunus microdonta</i> N. Boulay (feuille)	2			
<i>Prerocarya denticulata</i> Heer (foliole)			2 + 1 ?	
<i>Quercus hispanica</i> Rérolle (feuille)	4		13	
<i>Quercus</i> sp. cf. <i>Quercus macranthera</i> Fisch. & Mey. <i>fossilis</i> (feuille)	2 ?		2 + 1 ?	
<i>Rosa</i> sp. cf. <i>Rosa californica</i> Cham. & Schlecht. <i>fossilis</i> (foliole)		1		
<i>Salix</i> sp. à feuilles étroites (feuille)	1		2	
<i>Sapindus falcifolius</i> Al. Braun (foliole)	1	3 + 1 ?		
<i>Sassafras ferretianum</i> Massalongo (feuille)			1	
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz <i>fossilis</i> (feuille)	2	2		
<i>Tilia</i> sp. (bractée florale)	1		1	
<i>Tilia tomentosa</i> Moench. <i>fossilis</i> (feuille)	1		5	
<i>Ulmus</i> sp. (samare)			2	
<i>Ulmus braunii</i> Heer (feuille)	2	1	5	
<i>Ulmus</i> sp. cf. <i>Ulmus fulva</i> Michx. <i>fossilis</i> (feuille)	1	1		
<i>Vitis</i> sp. ? (inflorescence)		2		
<i>Vitis praevinifera</i> Sap. (feuille)	1			
<i>Vitis vivariensis</i> N. Boulay aff. <i>Vitis vinifera</i> L. <i>fossilis</i> (feuille)	2		4	
<i>Zelkova ungeri</i> Kovats aff. <i>Z. carpiniifolia</i> (Pall.) K. Koch <i>fossilis</i> (feuille)			13 + 3 rameaux à 2 feuilles	
<i>Zelkova ungeri</i> Kovats aff. <i>Z. serrata</i> (Thunb.) Mak. <i>fossilis</i> (feuille)	1		17	
Nombre total de fossiles récoltés	110	49	244	15
Nombre de formes fossiles par niveau	28	23	47	2

Tabl. II. — Répartition des fossiles récoltés dans la diatomite de Murat.

Table II. — Distribution of the fossil forms from the diatomite of Murat according to the sampling level.

à 69 : 2 Ptéridophytes, 7 Gymnospermes, 2 Angiospermes Monocotylédones et 58 Angiospermes Dicotylédones.

V. — COMPARAISON AVEC LE GISEMENT VOISIN DE JOURSAC

Roiron (1991) a comparé la macroflore de Murat avec d'autres macroflores du Miocène supérieur du Massif Central, de Cerdagne et du Nord-Ouest de l'Europe, et a précisé la signification de l'évolution des flores sur un plan climatique. Nous nous limiterons pour notre part à quelques éléments de comparaison avec le gisement de Joursac (Cantal). En effet, des feuilles fossiles identifiées à celles de Joursac (Tortonien), gisement distant de quelques kilomètres de Murat, avaient fait attribuer à la diatomite de Murat (Messinien) un âge Miocène supérieur (Boule, 1905) ; ces deux gisements ont d'ailleurs souvent fait l'objet de comparaisons (Rey, 1965). Le gisement dit de Joursac [La Rouleyre] (m2bS, Tortonien) est célèbre par sa très riche flore foliaire, prise pour type de référence du « Pontien » par P. Marty (1903). Les sédiments fossilifères sont observables sur 90 mètres de dénivellation, dans un contexte complètement perturbé par la tectonique, la proximité du diatème de Joursac, et le glissement généralisé du versant ; ils s'intercalent entre le socle migmatitique et les tufs ponceux (*ash-fall*) paléocantaliens (Goër de Hervé et Tempier, 1988). Une première étude palynologique (Durand et Rey, 1963) concluant à un âge villafranchien, fut à l'origine d'un « rajeunissement » général du Cantal, ultérieurement remis en cause par la géochronométrie K/Ar ; un réexamen du contenu pollinique a aussi conduit à replacer ce gisement dans le Miocène supérieur (Goër de Hervé et Tempier, 1988).

Marty (1903) a étudié en détail la macroflore fossile de Joursac, et en a donné par la suite deux listes révisées, l'une in Laurent et Marty (1927), l'autre in Piton et Théobald (1935). Cette dernière liste comprend les espèces suivantes :

- Bryophytes : *Hypnum mastodontum* N. Boul.
- Gymnospermes : *Abies ramesi* Sap., *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer, *Juniperus drupacea* Lab., *Picea smithiana* (Wall.) Boiss. (= *P. morinda* Link.), *Pinus strobus* L., *Taxus baccata* L.
- Angiospermes monocotylédones : *Bambusa cambonensis* N. Boul. (= *B. lugdunensis* Sap. & Mar.), *Phragmites oeningiensis* Heer
- Angiospermes dicotylédones : *Abronia bronni* Laur., *Acer creticum* L., *Acer laetum pliocenicum* Sap. & Mar., *Acer trilobatum* Heer, *Alnus cordifolia* Ten., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. var. *orbicularis* Sap., *Alnus insignis* N. Boul., *Alnus occidentalis* Rér. (= *A. orientalis* Dcne + *A. japonica* Max. + *A. maritima* [Marsh.] Muhl.), *Betula alba* L. (= *B. subpubescens* Goep.), *Bumelia rieufti* Marty, *Carpinus betulus* L., *Carpinus orientalis* Mill. (fruits), *Carya minor* Sap. & Mar., *Castanea sativa* Mill. (= *C. vesca* Gaertn.), *Celtis japeti* Ung., *Celtis trachytica* Ett., *Cerasus* (= *Prunus*) *paleoavium* Marty, *Cinnamomum scheuchzeri* Heer, *Cornus sp.*, *Corylus avellana* L., *Daphne gautieri* Marty, *Fagus pliocenica* Sap., *Ficus laurenti* Marty, *Ficus sp.* voisin de *F. angustifolia* H.B.R., *Fraxinus arvernensis* Laur., *Fraxinus ornus* L., *Gleditschia allemanica* Heer, *Grewia crenata* Heer, *Gymnocladus canadensis* Laur., *Juglans regia* L., *Laurus nobilis* L., *Ostrya atlantidis* Ung. (fruits présents à Joursac), *Paulownia europaea* Laur., *Platanus sp.*, *Populus gaudini* F.O., *Populus tremula* L., *Populus sp.*, *Prunus sp.*, *Pterocarya denticulata* Heer, *Pyrus amygdaliformis* Vill., *Quercus coccifera* L., *Quercus drymeja*

Ung., *Quercus elaena* Ung., *Quercus hispanica* Rér., *Quercus ilex* L., *Quercus tenerrima* O. Webb., *Salix alba* L., *Salix cinerea* L., *Salix varians* Goep., *Sassafras ferrettianum* Mass., *Sorbus aria* (L.) Crantz, *Ulmus braunii* Heer, *Wistaria sinensis* D. C., *Zelkova ungeri* Kov.

Marty précise qu'il y a en tout 62 espèces à Joursac, dont 19 sont rapprochées d'espèces actuelles de l'Eurasie centrale, 14 des régions méditerranéennes, 11 de l'Asie mineure, 9 des Etats-Unis, 8 des parties chaudes de la Chine ou du Japon, 1 de l'Himalaya ; seulement 4 sont subtropicales (Piton et Théobald, 1935).

Certains genres, présents dans le Tortonien de Joursac, n'ont pas été trouvés à l'état de macrofossiles dans le Messinien de Murat : *Abronia*, *Bumelia*, *Castanea*, *Cinnamomum*, *Cornus*, *Daphne*, *Ficus*, *Gleditschia*, *Grewia*, *Gymnocladus*, *Hypnum*, *Phragmites*, *Platanus*, *Pyrus*, *Taxus*, *Wistaria* ; de même, les *Quercus* ne sont représentés à Murat que par la série des rouvres.

Au contraire, certains genres de Murat n'avaient pas été trouvés à Joursac : *Asplenium*, *Berberis*, *Buettneria*, *Cedrela*, *Cedrus*, *Ceratophyllum*, *Cercis*, *Crataegus*, *Dombeyopsis*, *Equisetum*, *Hedera*, *Ilex*, *Myrica*, *Persea*, *Phellodendron*, *Photinia*, *Potamogeton*, *Rosa*, *Sapindus*, *Sequoia*, *Tilia*, *Vitis*.

Les flores des gisements de Joursac et de Murat traduisent des climats tempérés à frais (Roiron, 1991). La flore de Joursac traduit une végétation montagnarde avec une abondance de restes de Gymnospermes, de *Betula*, *Fagus*, *Alnus*, *Corylus*, *Sorbus aria*... ; on y trouve aussi des espèces mésophiles, des méditerranéennes et peu de thermophiles (Lauracées, *Ficus*, *Bumelia*...) (Roiron, 1991). A Murat, la flore contient peu d'espèces thermophiles, hormis les Taxodiacées et quelques taxons tempérés-chauds (*Carya*, *Ilex*, *Dombeyopsis*...) ; les éléments méditerranéens y sont rares, alors que les éléments tempérés ou froids y abondent ; parmi les espèces « froides », on trouve certains taxons d'altitude tels que le sapin et les autres Gymnospermes, *Betula* et *Acer opalus* (Roiron, 1991). Cette analyse peut être nuancée avec la découverte à Murat de nouveaux taxons à affinités méditerranéennes ou thermophiles : Lauracées, *Myrica*, *Sapindus*, *Vitis*.

VI. — CONCLUSION

La macroflore de la diatomite de Murat apparaît très proche de celle des autres gisements du Miocène supérieur du Cantal, qui ont fait l'objet de nombreuses études et discussions, notamment par Marty (1903, 1904a, 1904b, 1905, 1912), Laurent (1904-1905, 1908), Lauby (1909-1910), Laurent et Marty (1927), Rey et Depape (1947-1949). La richesse paléontologique de ces gisements a pu être utilisée autrefois pour rechercher leur âge et préciser leur chronologie relative. En effet, les indices paléontologiques sont longtemps restés la seule possibilité de datation utilisable dans l'édifice volcanique cantalien, aux formations volcaniques complexes et à la stratigraphie difficile. L'utilisation de la macroflore en chronologie relative s'est cependant heurtée à plusieurs limites, et l'âge supposé des gisements sur la base de la flore a souvent été discuté et a varié selon les auteurs qui les ont alors attribués à différents

découpages stratigraphiques du Miocène supérieur et du Pliocène. D'une part, les flores des différents gisements mio-pliocènes sont réparties sur une période de temps restreinte au regard des considérations géologiques, elles sont soumises à une évolution faible et sont donc très proches les unes des autres ; d'autre part, les spécimens récoltés dans un gisement paléontologique ne représentent qu'un échantillonnage de la flore qui existait à leur époque, la liste des espèces peut varier en fonction des circonstances de la fossilisation et des récoltes effectuées, et la présence ou l'absence de certaines espèces peut ainsi modifier des conclusions d'ordre stratigraphique et chronologique. Les méthodes modernes de datation par chronologie absolue (radiochronologie) permettent maintenant d'approcher l'âge réel de ces gisements, de les situer les uns par rapport aux autres sur l'échelle stratigraphique, et de préciser les variations de la flore et du climat au cours des temps géologiques.

Remerciements :

Mme Dominique Dambrine (société CELITE France à Murat) nous a autorisé à prélever des échantillons dans la carrière en cours d'exploitation.

Melle Nathalie Peynon a participé aux récoltes de terrain.

M. Bertrand Devouard (Université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand, Département de géologie) a contribué à réunir la bibliographie.

M. Raymond Durand (Arboretum National des Barres à Nogent-sur-Vernisson) a apporté d'utiles précisions sur la nomenclature botanique.

MM. Gilles Thébaud et Fabrice Rubio (Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand) nous ont facilité la consultation des herbiers.

M. Paul Roiron (Université de Montpellier II, Institut de Botanique, Paléoenvironnements, anthracologie et action de l'homme) a accepté de relire le manuscrit.

Mme Paule Corsin (Société Géologique du Nord) a mené à bien la publication de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- BOULE M. (1905). — Révision du Cantal. *Bulletin des Services de la Carte Géologique de la France*, 15^{ème} vol. (1903-1904), p. 197-199.
- BOUT P. et MARTY P. (1936). — Flore astienne de Perrier (Puy-de-Dôme). *Ann. Musée Hist. Nat. Marseille*, Tome XXVIII, Mém. I, 39 p.
- BRICE D. (1965). — Recherches sur la flore mio-pliocène de la montagne d'Andance (Coiron, Ardèche). *Ann. Soc. Géol. Nord*, Tome LXXXV, p. 189-239, pl. XVII-XX.
- COSTE H. (1937). — Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. *Librairie scientifique et technique Albert Blanchard*, Paris, 3 vol., 416 + 627 + 807 p.
- DEBAZAC E.-F. (1964). — Manuel des conifères. *ENGREF*, Nancy, 172 p. (2^{ème} éd. 1991).
- DEPAPE G. (1922). — Recherches sur la flore pliocène de la vallée du Rhône. Flores de Saint-Marcel (Ardèche) et des environs de Théziers (Gard). *Ann. Sciences Nat. (Botanique)*, 10^{ème} sér., Tome IV, p. 73-265, 15 pl.
- DURAND S. et REY R. (1963). — Les formations à végétaux de Joursac (Cantal) peuvent être datées du Villafranchien par l'analyse pollinique. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 257, p. 2692-2693.
- DURAND S. et REY R. (1964). — Le dépôt de la diatomite de Sainte-Reine (Cantal) débute au Pliocène supérieur et permet de déceler les traces du refroidissement prétiligien. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 259, p. 1978-1980.
- FOURNIER F. (1965). — Etude de quelques gisements diatomifères d'Auvergne. *Dipl. Et. Sup.*, Orsay, 80 p.
- GRANGEON P. (1950). — Etude des gisements des plantes fossiles tertiaires de l'Aubépin (Haute-Loire), de Ceyszac et du Crozas (Haute-Loire). *Mém. Etudes Sup. Sc. Nat.*, Fac. Sc. Clermont-Ferrand, 91 p., 13 pl., tabl.
- GRANGEON P. (1956). — Contribution à l'étude de la paléontologie végétale du massif du Coiron (Sud-Est du Massif Central Français). *Thèse*, Fac. Sc. Clermont-Ferrand, 302 p., VII pl. (impr. G. de Bussac, 1958), et *Mém. Soc. Hist. Nat. d'Auvergne*, n°6.
- GOËR DE HERVE A. DE et TEMPIER P. (1988). — Notice explicative, feuille Saint-Flour. *Carte géologique de la France (1:50000)*, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, 92 p.
- HERIBAUD J. (1893). — Les diatomées d'Auvergne. *Revue d'Auvergne*, 232 p., 6 pl.
- HERIBAUD J. (1903). — Les diatomées fossiles d'Auvergne (second mémoire). Clermont-Ferrand et Paris, 155 p., 4 pl.
- JUDD W. S., CAMPBELL C. S., KELLOGG E. A. et STEVENS P. (2002). — Botanique systématique : une perspective phylogénétique. *Ed. De Boeck Université*, Paris, Bruxelles, 467 p.
- LAKATOS C. (1959). — Bibliographie géologique et minière des départements du Puy-de-Dôme, du Cantal, de la Haute-Loire et de l'Allier. *Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont*, 1, sér. Géol. Minéral., 3, 63 p.
- LAUBY A. (1910). — Recherches paléophytologiques dans le Massif Central. *Bulletin des Services de la Carte Géologique de la France*, 20^{ème} vol. (1909-1910), p. 1-398, pl. I-XIV.
- LAURENT L. (1904-1905). — Flore pliocène des cinérites du Pas-de-la-Mougudo et de Saint-Vincent-la-Sabie (Cantal), avec une introduction géologique et paléontologique par P. Marty. *Ann. Musée Hist. Nat. Marseille*, Géologie, Tome IX, 313 p., tabl., XX pl.
- LAURENT L. (1908). — Flore plaisancienne des argiles cinéritiques de Niac (Cantal), avec une introduction géologique par P. Marty. *Ann. Musée Hist. Nat. Marseille*, Géologie, Tome XII, 88 p., tabl., IX pl.
- LAURENT L. (1912). — Flore fossile des schistes de Menat (Puy-de-Dôme). *Ann. Musée Hist. Nat. Marseille*, Géologie, Tome XIV, 246 p., 17 pl.
- LAURENT L. et MARTY P. (1927). — Flore pliocène des cinérites des hautes vallées de la Petite-Rhue et de la Véronne (Cantal). *Ann. Musée Hist. Nat. Marseille*, Tome XXI, 132 p.
- MARTY P. (1903). — Flore miocène de Joursac. *Revue de la Haute Auvergne*, Aurillac, p. 93-182, XIII pl.
- MARTY P. (1904a). — Les études de M. Laurent sur la flore fossile du Cantal. *Revue de la Haute-Auvergne*, Aurillac, p. 337-356.
- MARTY P. (1904b). — Un nouvel horizon paléontologique du Cantal. *Revue de la Haute-Auvergne*, Aurillac, p. 5-24, IV pl.
- MARTY P. (1905). — Végétaux fossiles des cinérites pliocènes de Las Clausades (Cantal). *Revue de la Haute-Auvergne*, Aurillac, p. 109-143, VII pl.

- MARTY P. (1912). — Florule miocène et géologie des environs de Lugarde (Cantal). *Revue de la Haute-Auvergne*, Aurillac, p. 53-60, 2 pl.
- PITON L. (1940). — Paléontologie du gisement éocène de Menat (Puy-de-Dôme). *Mém. Soc. Hist. Nat. d'Auvergne*, n°1, 303 p., XXVI pl.
- PITON L. et THEOBALD N. (1935). — La faune entomologique des gisements mio-pliocènes du Massif Central. *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*, 1 (2), p. 65-104, 5 pl.
- PRIVE-GILL C. (1987). — Les flores ligneuses tertiaires du Massif Central français : étude anatomique, implications paléoclimatiques et phytogéographiques. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université Pierre et Marie Curie, Paris, p. 149-153.
- RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G., TIMBAL J., LECOINTE A., DUPONT P. et KELLER R. (1989). — Flore forestière française. 1 : Plaines et collines. *Institut pour le Développement Forestier et Ministère de l'Agriculture et de la Forêt*, Paris, 1785 p.
- RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G., LECOINTE A., TIMBAL J., DUPONT P. et KELLER R. (1993). — Flore forestière française. 2 : Montagnes. *Institut pour le Développement Forestier et Ministère de l'Agriculture et de la Pêche*, Paris, 2421 p.
- REY R. (1965). — Deux gisements à plantes du flanc Est du massif volcanique du Cantal : Sainte-Reine et Joursac. *Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne*, Rennes, (1962-63), p. 211-273.
- REY M. et DEPAPE G. (1947-1949). — Florule mio-pliocène des environs de Saint-Flour. *Revue de la Haute-Auvergne*, Aurillac, p. 208-214, 1 pl.
- ROIRON P. (1991). — La macroflore d'âge miocène supérieur des diatomites de Murat (Cantal, France) ; implications paléoclimatiques. *Palaeontographica*, B, 223 (4-6), p. 169-203, 6 pl.
- SALANON R. (1970). — Bibliographie botanique et paléobotanique de l'Auvergne et des contrées limitrophes (I). *Arvernia Biologica, Botanique*, Fac. Sc. Univ. Clermont-Ferrand, série 2, fasc. 10, 144 p.
- SAPORTA G. DE (1872-1873). — Etudes sur la végétation du Sud-Est de la France à l'époque tertiaire. Supplément I : révision de la flore des gypses d'Aix. *Ann. des Sciences Naturelles (Botanique)*, 5^{me} série. Tome XV, pp. 277-351, 2 pl. (1872) ; Tome XVII, p. 5-44, 5 pl. (1873) ; Tome XVIII, p. 23-146, 13 pl. (1873).
- SAPORTA G. DE (1888-1889). — Dernières adjonctions à la flore fossile d'Aix-en-Provence. *Ann. des Sciences Naturelles (Botanique)*, 7^{me} série. Tome VII, p. 1-104, 10 pl. (1888) ; Tome X, p. 1-192, 20 pl. (1889).
- SAPORTA G. DE (1891). — Recherches sur la végétation du niveau aquitain de Manosque. *Mém. Soc. Géol. Fr. (paléontologie)*, n°9, 83 p., XX pl.
- SERIEYSSOL K. et GASSE F. (1991). — Diatomées néogènes du Massif Central français : quelques faits biostratigraphiques. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 312, p. 957-964.

EXPLICATION DES PLANCHES V A X (*)

PLANCHE V

- Fig. 1. — *Asplenium viride* Huds. *fossilis* (pennule avec pinnules)
- Fig. 2. — *Equisetum* sp. (tige)
- Fig. 3. — *Abies* sp. ? ou *Cedrus* sp. ? (base de cône)
- Fig. 4. — *Abies ramesi* Saporta (aiguille isolée)
- Fig. 5. — *Cedrus miocenica* Lauby (graine)
- Fig. 6. — *Cedrus miocenica* Lauby (écaille de cône femelle)
- Fig. 7. — *Cedrus miocenica* Lauby (chaton mâle)
- Fig. 8. — *Cedrus miocenica* Lauby (rameau défeuillé)
- Fig. 9. — *Juniperus* sp. section *sabina* (rameau feuillé avec fruit)
- Fig. 10. — *Picea* sp. (graine)
- Fig. 11. — *Picea* sp. (cône femelle)
- Fig. 12. — *Pinus* sp. (graine)
- Fig. 13. — *Bambusa lugdunensis* Saporta & Marion (feuille)
- Fig. 14. — *Potamogeton* sp. ? (feuille) et *Acer palmatum* Thunberg *fossilis* (feuille)
- Fig. 15. — *Acer* sp. (samare)
- Fig. 16. — *Acer* sp. (samare)
- Fig. 17. — *Acer decipiens* Al. Braun (feuille)
- Fig. 18. — *Acer laetum pliogenicum* Saporta & Marion (feuille)
- Fig. 19. — *Acer palmatum* Thunberg *fossilis* (feuille)
- Fig. 20. — *Acer platanoides* L. *fossilis* (feuille)

(*) Le trait d'échelle correspond à 1 centimètre (scale bar = 1 cm)

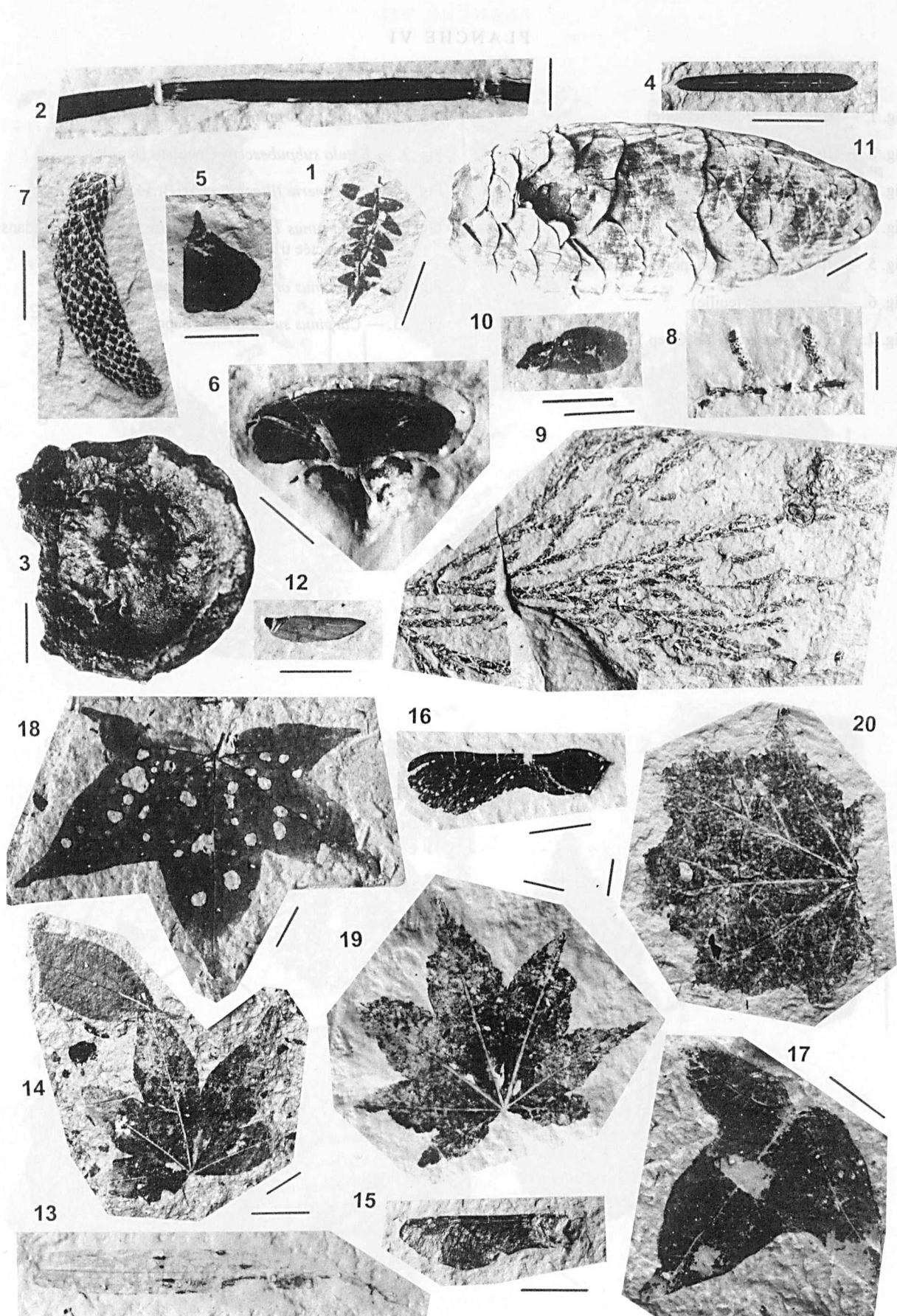


PLANCHE VI

- Fig. 1. — *Alnus sp.* (strobile femelle)
- Fig. 2. — *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *fossilis* (feuille)
- Fig. 3. — *Alnus kefersteinii* Unger (feuille)
- Fig. 4. — *Alnus kefersteinii* Unger (feuille)
- Fig. 5. — *Alnus stenophylla* Saporta & Marion (feuille)
- Fig. 6. — *Berberis sp.* (feuille)
- Fig. 7. — *Betula macrophylla* (Goep.) Heer (feuille)
- Fig. 8. — *Betula macrophylla* (Goep.) Heer (feuille)
- Fig. 9. — *Betula subpubescens* Goepfert (feuille)
- Fig. 10. — *Buettneria tiliaefolia* (Al. Br.) Depape (feuille)
- Fig. 11. — *Carpinus betulus* L. *fossilis* (fruit = akène dans une bractée trilobée)
- Fig. 12. — *Carpinus orientalis* Mill. *fossilis* (fruit)
- Fig. 13. — *Carpinus suborientalis* Saporta (feuille)

PLANCHE VII

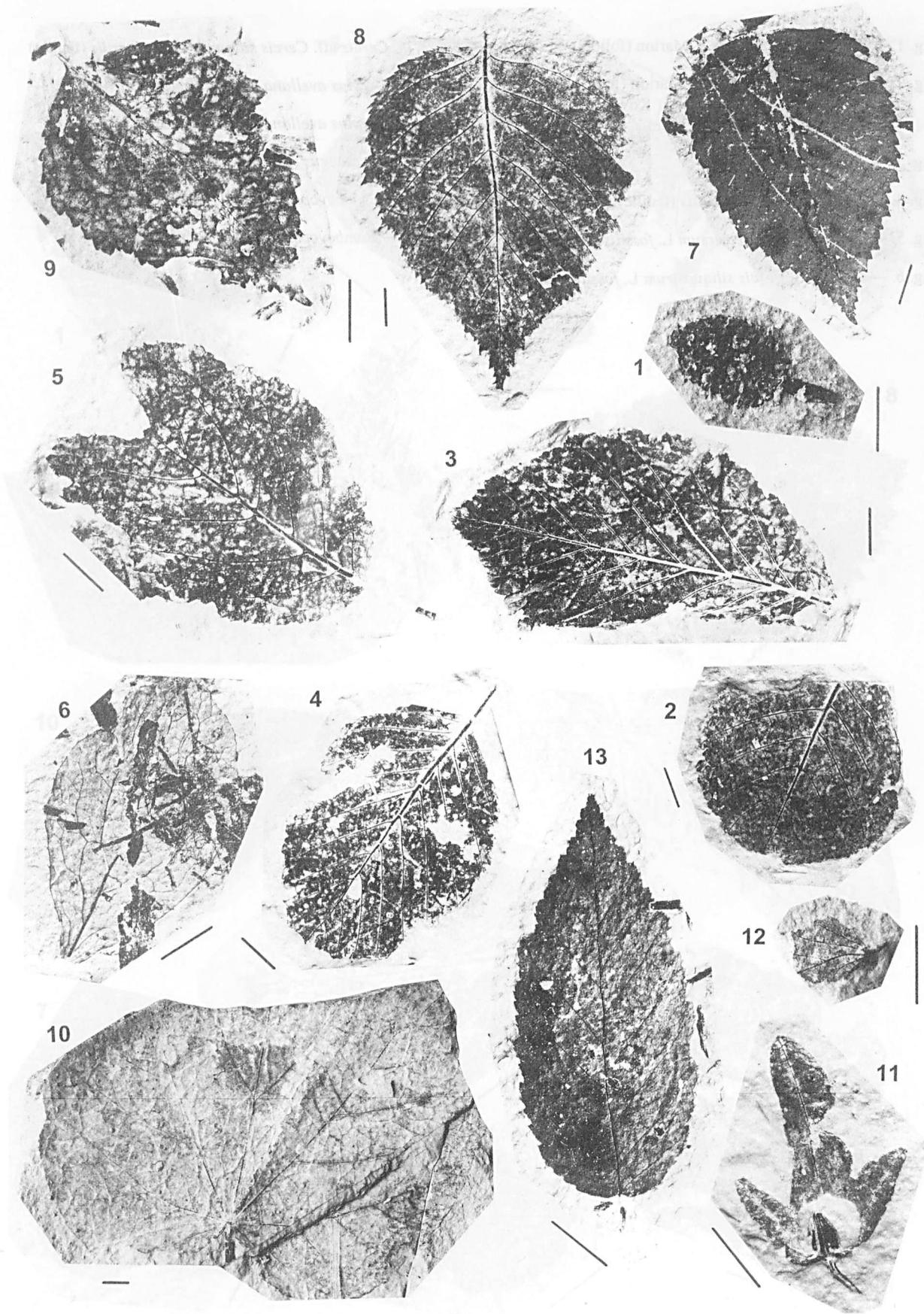


PLANCHE VII

- Fig. 1. — *Carya minor* Saporta & Marion (foliole)
Fig. 2. — *Carya minor* Saporta & Marion (feuille complète à 7 folioles) et *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. serrata* (Thunb.) Mak. *fossilis* (feuille)
Fig. 3. — *Cedrela* sp. (graine)
Fig. 4. — *Celtis australis* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 5. — *Ceratophyllum demersum* L. *fossilis* (tige feuillée)
Fig. 6. — *Cercis* aff. *Cercis siliquastrum* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 7. — *Cercis* aff. *Cercis siliquastrum* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 8. — *Corylus avellana* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 9. — *Corylus avellana* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 10. — *Crataegus* sp. (feuille)
Fig. 11. — *Dombeyopsis lobata* Unger (feuille)
Fig. 12. — *Dombeyopsis lobata* Unger (feuille)

PLANCHE VIII

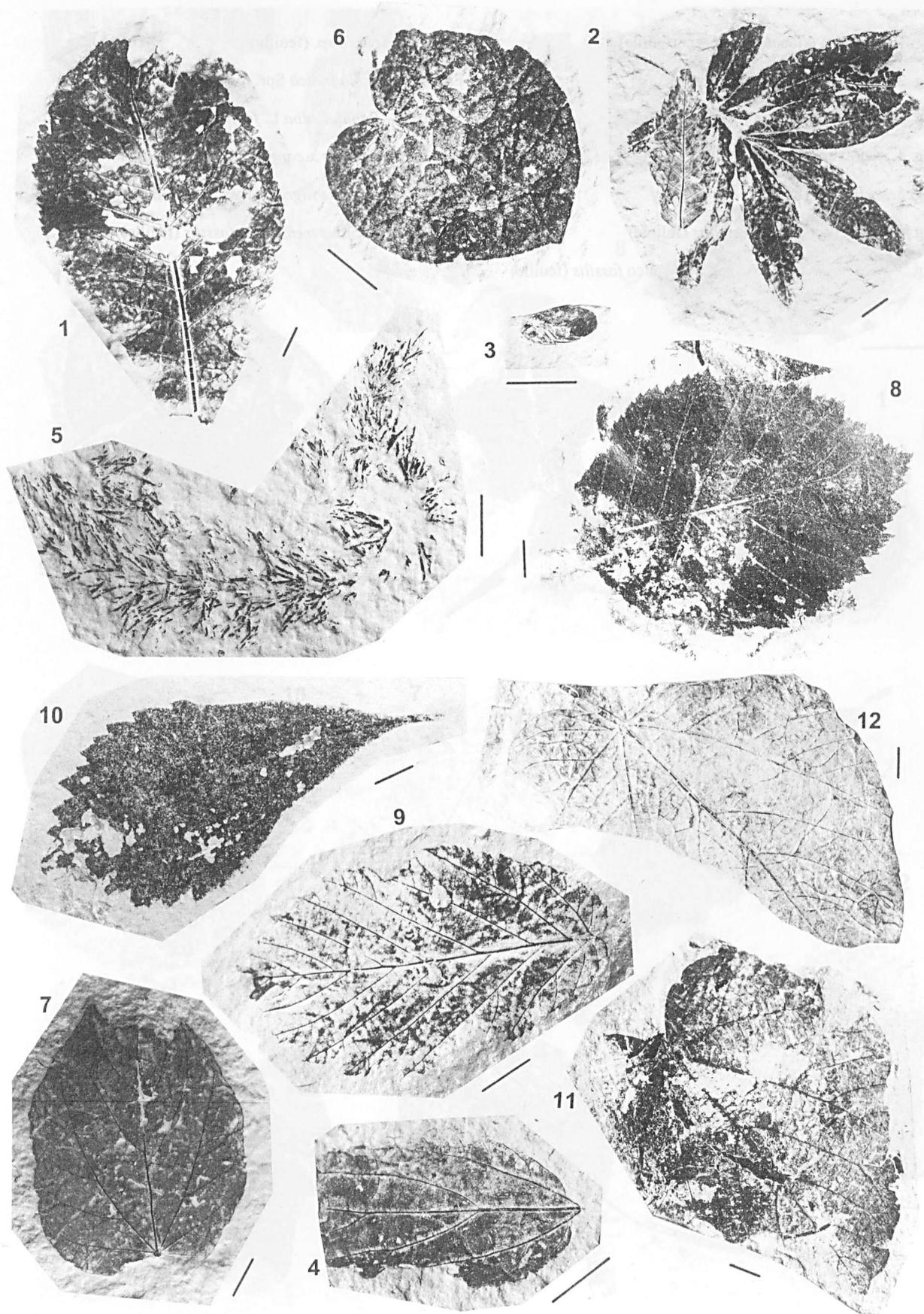


PLANCHE VIII

Fig. 1. — *Fagus pliocenica* Saporta (feuille)

Fig. 2. — *Fraxinus* sp. (feuille)

Fig. 3. — *Hedera helix* L. *fossilis* (feuille)

Fig. 4. — *Ilex* sp. (feuille)

Fig. 5. — *Ilex* sp. (feuille)

Fig. 6. — *Juglans regia* L. *fossilis* (foliole)

Fig. 7. — *Laurus azorica* (Seub.) J. Franco *fossilis* (feuille)

Fig. 8. — *Myrica* sp. (feuille)

Fig. 9. — *Persea indica* Spr. *fossilis* (feuille)

Fig. 10. — *Populus alba* L. *fossilis* (feuille)

Fig. 11. — *Populus x canescens* (Ait.) Sm. *fossilis* (feuille)

Fig. 12. — *Populus nigra* L. *fossilis* (feuille)

Fig. 13. — *Populus tremula* L. *fossilis* (feuille)

PLANCHE IX

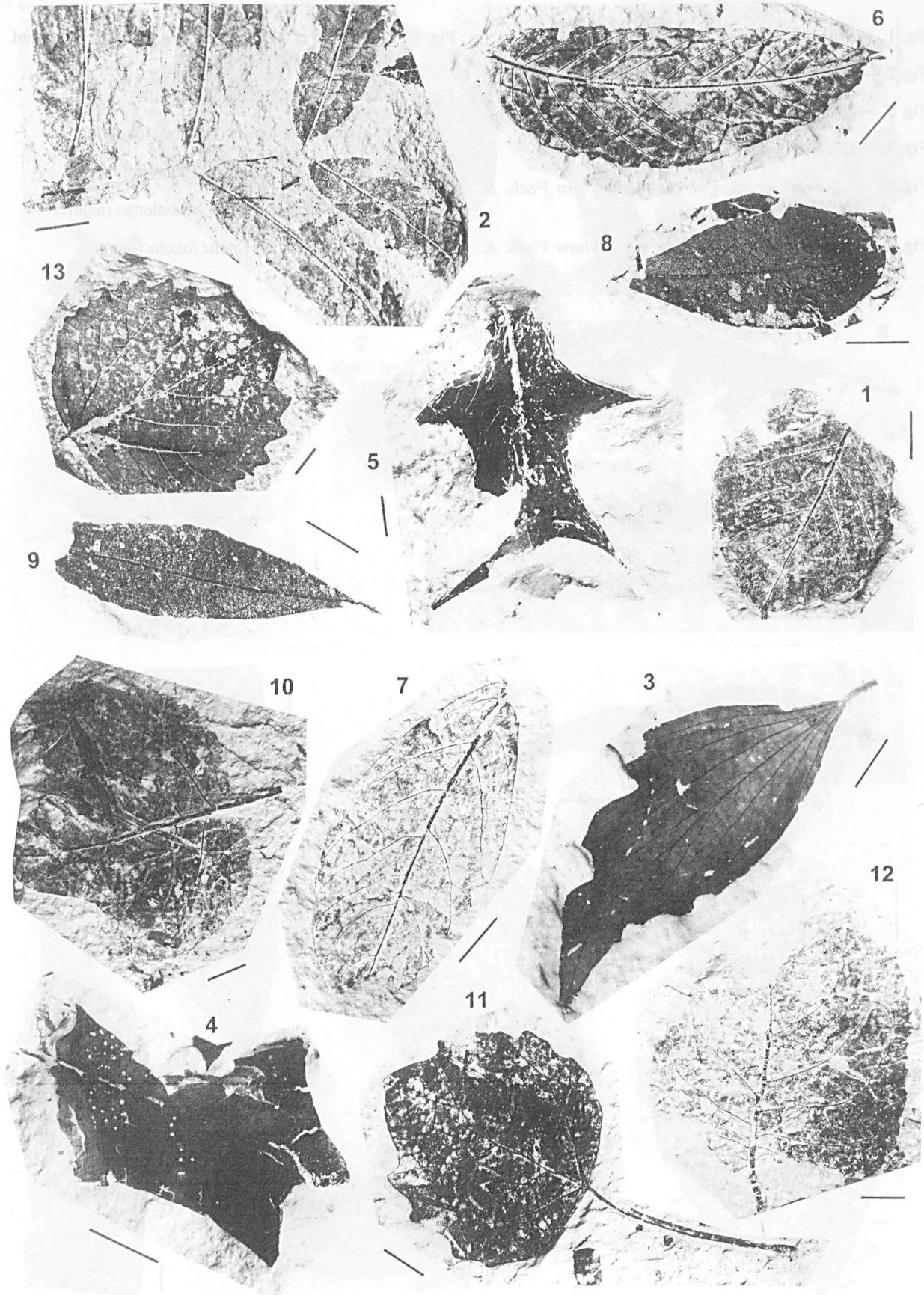


PLANCHE IX

Fig. 1. — *Prunus microdonta* N. Boulay (feuille)

Fig. 2. — *Pterocarya denticulata* Heer (foliole)

Fig. 3. — *Quercus hispanica* Rérolle (feuille)

Fig. 4. — *Quercus hispanica* Rérolle (feuille)

Fig. 5. — *Quercus* sp. cf. *Quercus macranthera* Fisch. & Mey. *fossilis* (feuille)

Fig. 6. — *Quercus* sp. cf. *Quercus macranthera* Fisch. & Mey. *fossilis* (feuille)

Fig. 7. — *Rosa* sp. cf. *Rosa californica* Cham. & Schlecht. *fossilis* (foliole)

Fig. 8. — *Salix* sp. à feuilles étroites (feuille)

Fig. 9. — *Sapindus falcifolius* Al. Braun (foliole)

Fig. 10. — *Sapindus falcifolius* Al. Braun (foliole)

Fig. 11. — *Sassafras ferrettianum* Massalongo (feuille)

Fig. 12. — *Sorbus aria* (L.) Crantz *fossilis* (feuille)

PLANCHE X

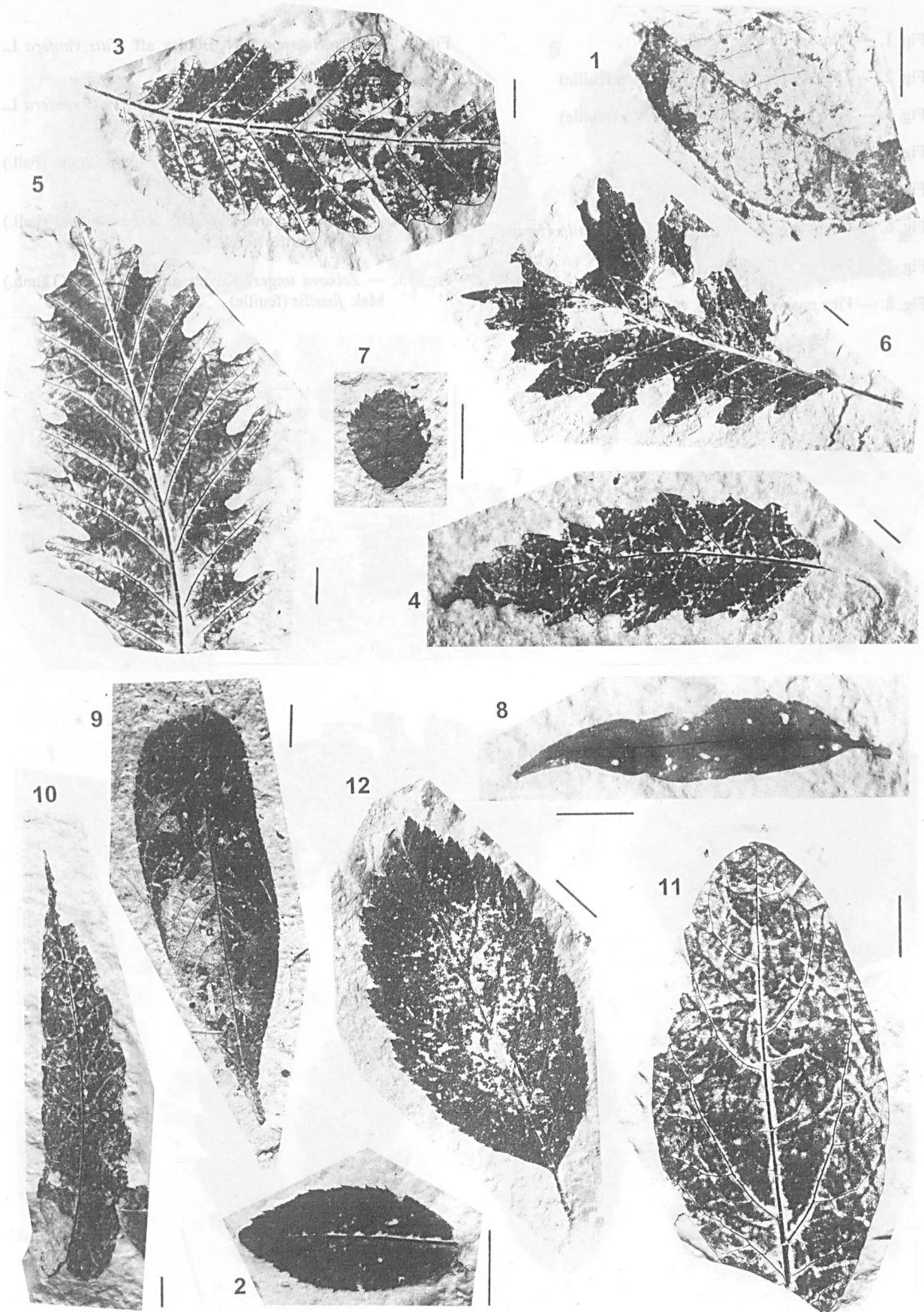
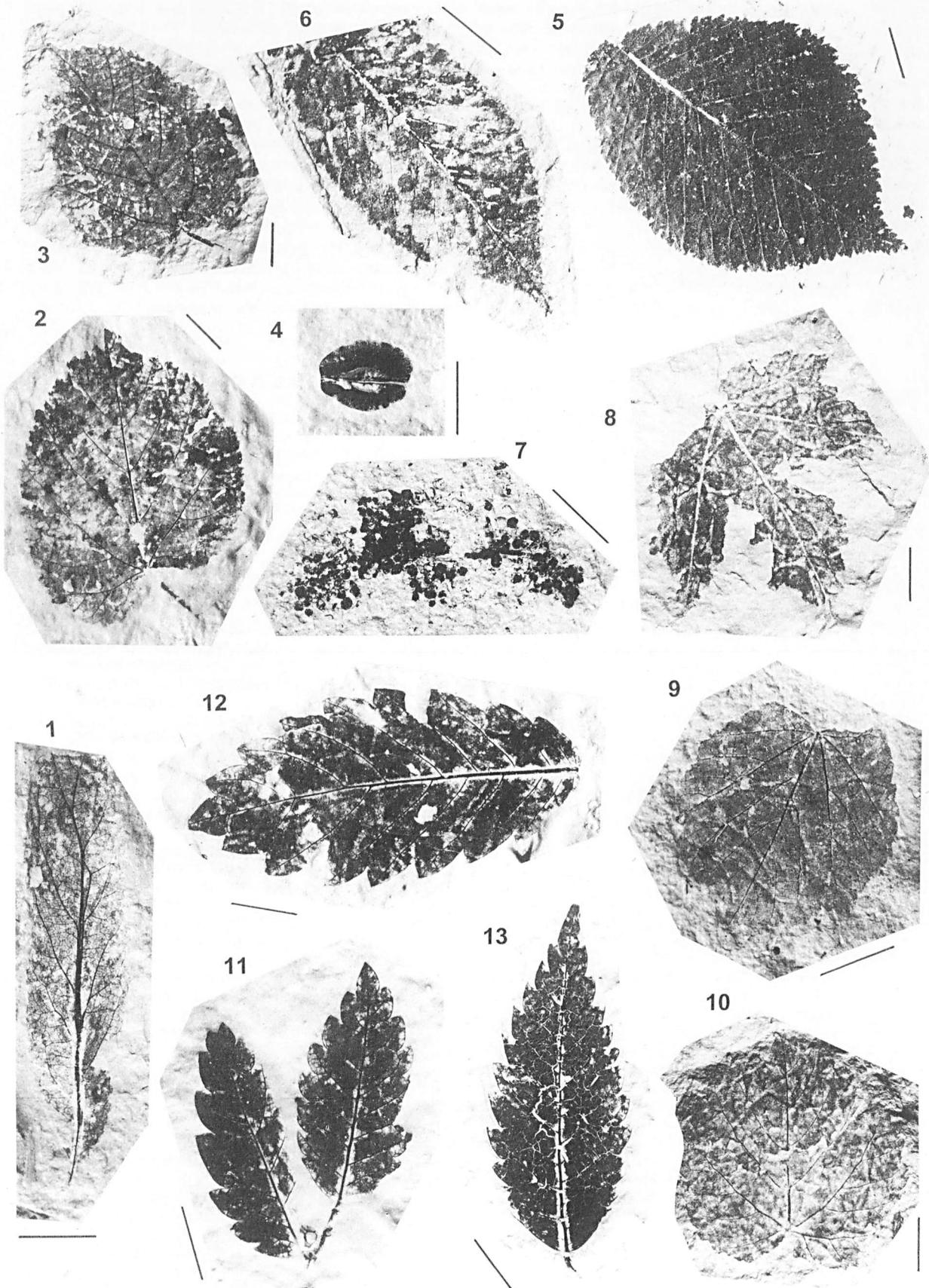


PLANCHE X

- Fig. 1. — *Tilia* sp. (bractée florale)
Fig. 2. — *Tilia tomentosa* Moench *fossilis* (feuille)
Fig. 3. — *Tilia tomentosa* Moench *fossilis* (feuille)
Fig. 4. — *Ulmus* sp. (samare)
Fig. 5. — *Ulmus braunii* Heer (feuille)
Fig. 6. — *Ulmus* sp. cf. *Ulmus fulva* Michx. *fossilis* (feuille)
Fig. 7. — *Vitis* sp. ? (inflorescence)
Fig. 8. — *Vitis praevinifera* Sap. (feuille)
Fig. 9. — *Vitis vivariensis* N. Boulay aff. *Vitis vinifera* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 10. — *Vitis vivariensis* N. Boulay aff. *Vitis vinifera* L. *fossilis* (feuille)
Fig. 11. — *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. carpinifolia* (Pall.) K. Koch *fossilis* (rameau feuillé)
Fig. 12. — *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. carpinifolia* (Pall.) K. Koch *fossilis* (feuille)
Fig. 13. — *Zelkova ungeri* Kovats aff. *Z. serrata* (Thunb.) Mak. *fossilis* (feuille)



Sont en vente au Siège de la Société :

MÉMOIRES (*)

Tome I n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétaé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.....	51,20 €
n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.....	38,40 €
n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.....	5,50 €
Tome IV n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Vermeuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.....	13,75 €
Tome VI n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.....	13,00 €
n° 2. — J. GOSSELET <i>et al.</i> , <i>Faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2.....	51,20 €
n° 3. — V.COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.....	23,75 €
Tome VII n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.....	15,55 €
Tome VIII n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.....	18,30 €
Tome IX n° 1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.....	65,85 €
n° 2. — G. FOURNIER <i>et al.</i> , <i>Poissons élasmobranches de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl.....	14,65 €
Tome X n° 2. — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.....	27,50 €
Tome XII — D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.....	51,20 €
Tome XIII — P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.....	38,40 €
Tome XIV — G. WATERLOT, <i>Les Gigantostracés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.....	13,00 €
Tome XV — J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.....	27,50 €
Tome XVI — A. BOUROZ <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la gènèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl.....	38,10 €

PUBLICATIONS (*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	20,00 €
Publication N° 2. — J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)</i>	23,00 €
Publication N° 3. — J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	22,00 €
Publication N° 4. — J.J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i>	26,70 €
Publication N° 5. — M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	26,70 €
Publication N° 6. — F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridionale</i>	28,20 €
Publication N° 7. — P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	27,50 €
Publication N° 8. — J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i>	28,20 €
Publication N° 9. — H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i>	20,00 €
Publication N° 10. — Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i>	30,00 €
Publication N° 11. — B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	30,00 €
Publication N° 12. — T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i> T.T.C.	13,75 €
Publication N° 13. — J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormineca des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i>	30,00 €
Publication N° 14. — C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	19,00 €
Publication N° 15. — J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i>	19,00 €
Publication N° 16. — J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i> T.T.C.	15,00 €
Publication N° 17. — F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly (Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique ; Fasc. 2 : Traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Carte géol. en couleurs 1/25000 Massif Agly)</i> T.T.C. (les 3 fasc.)	54,90 €
Publication N° 18. — A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i> T.T.C.	23,00 €
Publication N° 19. — C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i>	23,00 €
Publication N° 20. — G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétaé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Hellénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i>	23,00 €
Publication N° 21. — P. BRACQ, <i>Effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i>	23,00 €
Publication N° 22. — N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i>	23,00 €
Publication N° 23. — G. BUSSON <i>et A. CORNÉE</i> , <i>L'événement océanique anoxique du Cénomanién supérieur-terminal</i>	19,00 €
Publication N° 24. — B. LOUCHE, <i>Limites littorales de la nappe de la Craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer</i>	23,00 €
Publication N° 25. — J. G. BREHERET, <i>L'Aptien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Evolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques</i>	46,00 €
Publication N° 26. — T. PLETSCHE, <i>Clay minerals in Cretaceous deep-water formations of the Rif and the Betic Cordillera (N. Morocco and S. Spain)</i>	19,00 €
Publication N° 27. — E. VENNIN, <i>Architecture sédimentaire des Bioconstructions permo-carbonifères de l'Oural méridional (Russie)</i>	27,50 €
Publication N° 28. — Actes des 1 ^{ères} journées régionales Nord/Pas-de-Calais du Patrimoine géologique.....	15,00 €
Publication N° 29. — F. LACQUEMENT, <i>L'Ardenne Varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire préstructuré ; de l'affleurement au modèle de chaîne</i>	26,70 €
Publication N° 30. — R. PLATEVOET, <i>Diversité des formations pyroclastiques s.l. du strato-volcan du Cantal au Miocène. Elaboration d'une méthodologie de corrélation</i>	26,70 €

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20% sur un exemplaire de chacune de ces publications.
 Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.
 (*) Tous les prix sont indiqués hors taxe, sauf indication contraire (T.T.C.).

SOMMAIRE

Tome 10 (2^me série), Fascicule 1

parution 2003

	pages
Paul HUVELIN et Dominique GASQUET. — Zircons fusiformes dans des granites filoniens du Massif Hercynien du Boudoufoud (Maroc Oriental).....	1
Lahcen ZOUHRI, Lahoucine HANICH, J.Pierre COLBEAUX et Benoit DEFFONTAINES. — L'analyse morphostructurale des systèmes aquifères côtiers de la marge Atlantique Marocaine.	15
Philippe LEGRAND. — Inventaire de la macroflore du Miocène supérieur de la diatomite de Murat (Cantal, Massif Central, France).....	25

© 2003 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs

Imprimé en France (Printed en France)