

50376
1967
18-1

50376
1967
18-1

Numéro d'ordre : 76

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^{ME} CYCLE

de Géologie Houillère

par

JAIME RUEDA-GAXIOLA

Ingénieur Géologue I. P. N., Mexique

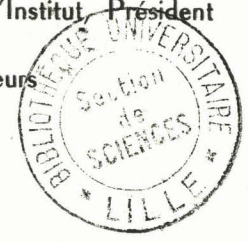
THÈSE

**Contribution à l'étude palynologique et pétrographique du
charbon crétacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique**

Applications géologiques

Soutenu à la Cité Scientifique d'Annappes, devant la Commission d'Examen

MM. P. CORSIN, Correspondant de l'Institut, ^{Président}
C. DELATTRE }
Madame P.M. CORSIN } Examineurs



1967

TOME I

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE LILLE

- Doyens honoraires : MM. LEFEBVRE, PARREAU.
- Professeurs honoraires : MM. ARNOULT, BEGHIN, CAU, CHAPELLOU, CHAUDRON, CORDONNIER, DEHEUVELS, DEHORNE, FLEURY, GERMAIN, KAMPE DE FERRET, KOURGANOFF, LAMOTTE, Mme LELONG, MM. LELONG, MAZET, MICHEL, NORMANT, PARISELLE, PASCAL, PAUTHENIER, ROIG, ROSEAU, ROUBINE, WIEMANN, ZAMANSKY.
- Doyen : M. TILLIEU, Professeur de Physique théorique.
- Assesseurs : MM. DURCHON, Professeur de Zoologie; HEUBEL, Professeur de Chimie minérale.
- Professeurs : MM. BACCHUS, Astronomie, Calcul numérique; BECART, Physique; BERKER, Professeur Associé, Mécanique des fluides; BLOCH, Psychophysiologie; BONNEMAN BEMIA, Chimie et Physico-Chimie industr.; BONTE, Géologie appliquée; BOUGHON, Mathématiques; BOUISSET, Physiologie animale; BOURIQUET, Botanique; CELET, Géologie générale; CORSIN, Paléobotanique; DECUYPER, Mathématiques; DEDEKER, Professeur Associé, Mathématiques; DEFRETIN, Biologie marine; DEHORS, Physique industrielle; DELATTRE, Géologie générale; DELEAU, Géologie et Minéralogie; DELHAYE, Chimie minérale; DESCOMBES, Calcul différentiel et intégral; FOURET, Physique; GABILLARD, Radioélectricité et Electronique; GLACET, Chimie organique; GONTIER, Mécanique des fluides; HEIM DE BALSAC, Zoologie;
- Mme HOCQUETTE, Botanique générale et appliquée;
- MM. LEBEGUE, Botanique;
- Mme LEBEGUE, Physique;
- M. LEBRUN, Radioélectricité et Electronique;
- Mlle LENOBLE, Physique;
- MM. LIEBART, Radioélectricité;
- LINDER, Botanique;
- LUCQUIN, Chimie minérale;
- MARION, Chimie;
- Mlle MARQUET, Mathématiques;
- MM. MARTINOT-LAGARDE, Mécanique des fluides;

MM. MENESSIER, Géologie;
MONTARIOL, Chimie minérale appliquée;
MONTREUIL, Chimie biologique;
MORIAMEZ, Physique;
PARREAU, Mathématiques;
PEREZ, Physique expérimentale;
PHAM MAU QUAN, Mécanique rationnelle et expérimentale;
POUZET, Calcul numérique;
PROUVOST, Géologie et Minéralogie;
SAVARD, Chimie générale;
SCHALLER, Zoologie;
SCHILTZ, Physique;
Mme SCHWARTZ, Analyse supérieure;
MM. TRIDOT, Chimie minérale appliquée;
VIVIER, Biologie animale;
WATERLOT, Géologie et Minéralogie;
WERTHEIMER, Physique.

Maîtres de conférences : MM. ATTEIA, Mathématiques;
BEAUFILS, Chimie générale;
BELLET, Physique;
BLANCHART, Chimie organique;
BOILLET, Physique;
BUI TRONG LIEU, Mathématiques;
CHASTRETTE, Chimie générale;
CHERRUAULT, Mathématiques;
COMBET, Mathématiques;
CONSTANT, Radioélectricité et Electronique;
DERCOURI, Géologie et Minéralogie;
DEVRAINNE, Chimie minérale;
Mme DRAN, Chimie appliquée;
MM. GOUDMAND, Chimie Physique;
GUILLAUME, Botanique;
HENRY, Physique;
HERZ, Calcul numérique;
HUARD DE LA MARRE, Calcul numérique;
JOLY, Zoologie;
LACOSTE, Botanique;
LAMBERT, Physique;
MAES, Physique;
METTETAL, Zoologie;
MOUVIER, Chimie;
NGUYEN PHONG CHAU, Mathématiques;
PANET, Electromécanique;
PARSY, Mathématiques;
RAUZI, Mathématiques;
SAADA, Physique;
SEGARD, Chimie biologique;
TUDO, Chimie minérale appliquée;
VAILLANT, Mathématiques;
VAZART, Botanique;
VIDAL, Physique industrielle.

Secrétaire général, Attaché principal : M. LEGROS.

A ma Compagne Concepcion Solano
et à mes filles Gisèle Xochitl et
Yolotl Yannick, avec tout mon amour.

Au Docteur Thomas VAN DER HAMMEN
et à ses Collaborateurs en Colombie et
en Hollande en reconnaissance de leur
importante coopération dans le domaine
de la Palynologie Appliquée.

L'étude qui fait l'objet du présent travail m'a été rendue possible grâce à l'attribution d'une bourse du gouvernement français dans le cadre de la Coopération Technique. Au cours de mes quatre années d'étude, j'ai pu acquérir une formation technique et il m'a été possible de connaître le peuple français et surtout de vivre dans le milieu de la Recherche de l'Enseignement Français ce qui m'a apporté une grande expérience personnelle.

Le sujet de cette thèse m'a été proposé par Monsieur Paul CORSIN, Professeur de Paléobotanique, Directeur de l'Institut de la Houille de la Faculté des Sciences de l'Université de Lille et Membre correspondant de l'Institut. Son exécution matérielle a été grandement facilitée par la mise à ma disposition de l'outillage scientifique perfectionné de l'Institut ainsi que de la grande documentation accumulée par les Départements de Palynologie et de Pétrographie. Je remercie Monsieur le Professeur CORSIN d'avoir bien voulu faciliter les démarches relatives à l'organisation de ce travail.

Je remercie également Madame Paule Marie CORSIN, Maître-Assistante de la Faculté des Sciences de Lille qui a accepté la tâche difficile de corriger la partie palynologique de ce travail.

Au cours des années 1966-1967, j'ai réalisé les études pétrographiques de cette thèse sous la direction de Monsieur le Professeur Charles DELATTRE qui a corrigé la partie concernant la géologie et la pétrographie. Je le prie de vouloir bien trouver ici l'expression de ma gratitude.

Je sais gré à Monsieur Emile MERIAUX, Assistant de la Faculté des Sciences de Lille, qui m'a initié dans le travail de la recherche pétrographique des charbons et qui m'a fourni le matériel nécessaire tant pour la recherche que pour la représentation graphique des résultats. Je le remercie très amicalement.

Je me fais un agréable devoir d'exprimer mes remerciements à Monsieur José PEREZ-LARIOS géologue Sous-Gérant d'exploration du Consejo de Recursos Naturales No Renovables au Mexique qui a mis à ma disposition le matériel qui a servi de base à mon travail. Je remercie également Messieurs les Ingénieurs José DELGADO et Miguel CASTENEDA de leur aimable coopération lors du prélèvement des échantillons.

Ma reconnaissance s'adresse également à Monsieur Jacques DANZE, Maître-Assistant de la Faculté des Sciences de Lille qui m'a initié aux recherches palynologiques. Qu'il trouve ici le témoignage de mon amitié.

Je me permets de remercier Monsieur Jean PROUVOST, Professeur de Minéralogie et Directeur du Laboratoire de Minéralogie et Cristallographie de la Faculté des Sciences de Lille de s'être intéressé à mes recherches et de m'avoir apporté l'encouragement qui m'a permis de mener ce travail à bon terme.

De même je n'aurais garde d'oublier Monsieur Gérard PONCHEL, Technicien au C. N. R. S., qui a réalisé l'étude aux rayons X des minéraux argileux de ce travail.

Au cours de mes années à l'Institut, j'ai contracté d'autres dettes de reconnaissance envers ceux qui furent mes camarades de recherche. Que Madame Josiane LEVET-CARETTE, Monsieur Jean-Pierre LAVEINE, Monsieur Stanislas LOBOZIAK, Monsieur Robert COQUEL, Monsieur Eran NAKOMAN et Mademoiselle Colette SOYEZ, veuillent bien trouver ici l'expression de toute ma reconnaissance.

Que Monsieur Bruno MONTANARO, Mademoiselle Anne de St. AUBERT, Mademoiselle Annie PHILIPPE et Monsieur et Madame René LEPOUTRE reçoivent ici toute mon amitié pour avoir bien voulu accepter le travail le plus pénible qui est celui de la correction de la grammaire du manuscrit de ce travail.

La macération d'une partie de mes échantillons à la réalisation des lames minces nécessaires à l'étude des intercalaires des veines de charbon ont été menées à bien grâce à Monsieur Pierre DOLLE, Ingénieur Géologue aux H. B. N. P. C., Directeur du Laboratoire de Géologie des Houillères à Drocourt et son équipe de collaboration. Je tiens à leur adresser tous mes remerciements.

Je me permets également d'exprimer ma reconnaissance au Docteur Thomas VAN DER HAMMEN de l'Université d'Amsterdam qui a très aimablement mis à ma disposition une bonne partie du matériel bibliographique.

Je dois remercier également Monsieur André LEBLANC, Photographe au Laboratoire de Paléobotanique qui a reproduit tous les clichés de ce travail ainsi qu'à Monsieur Maurice PROUVOST Dessinateur au C. N. R. S. qui a mis à ma disposition une partie du matériel qui m'a permis de réaliser les dessins et dépliantes. En outre, je remercie Mademoiselle Françoise PETIAUX, Messieurs Robert BALLENGHIEN et Marcel PLUQUIN pour leur coopération mainte fois désintéressée.

Je ne voudrais pas oublier le Docteur Lino conte DA NYLLO, Assistant Universitaire, qui m'a rendu mon travail plus facile en traduisant un grand nombre d'ouvrages et de publications qui ont servi de base à cette thèse.

Enfin, je prie les dirigeants du Centre Régional des Oeuvres Universitaires et Régionales de Lille, de l'Institut d'Expansion Universitaire de Lille ainsi que les dirigeants des institutions mexicaines, Instituto Nacional de la Investigacion Cientifica, Consejo de Recursos Naturales No Renovables, et Banco de Mexico, S. A. de trouver ici la part qui leur revient dans la dette de reconnaissance que j'ai contracté envers eux.

A première vue, il paraît logique que des géologues retraçant l'histoire de notre globe commencent par ses origines. Mais, à leur point de vue, la naissance de la terre n'est qu'un prologue. Il est bien vrai que si nous nous fions à l'étymologie, la "géologie" est la science qui s'occupe de l'étude de la "gê", la terre - et donc aussi de ses origines - mais, en fait, le terme, depuis longtemps est devenu trop vague. Un géologue, n'est-il pas, par définition, un monsieur qui, armé d'un marteau, d'une boussole et d'une loupe, parcourt les régions montagneuses pour aller étudier de près la nature inanimée et en établir la carte géologique ? Rentré chez lui avec un sac bourré de pierres, il cherche à découvrir, parmi celles-ci, la trace de fossiles, ou bien il y taille de minces lamelles, qu'il placera sous le microscope. Son domaine est donc la conformation et l'histoire de l'écorce terrestre tangible. Il doit, en outre analyser l'action qu'exercent actuellement sur cette écorce terrestre les phénomènes atmosphériques, l'eau courante, la glace et les volcans, les forces déformantes internes. Il doit également découvrir de quelle façon se produisent aujourd'hui de nouvelles sédimentations et trouver dans les anciens sédiments rocheux les raisons et les circonstances qui ont présidé à leur formation.

Mais il y a bien longtemps déjà que le géologue a abandonné l'étude de certaines parties de la terre : il a laissé l'atmosphère aux météorologues, les mers aux océanographes et les profondeurs souterraines du globe aux géophysiciens.

Les investigations du géologue ne dépassent pas, en profondeur, le sous-sol que des forages ou l'usure des montagnes offrent à l'examen direct. En deux mots, il ne s'adonne donc pas à l'étude de la terre, mais plutôt à l'étude de l'écorce terrestre.

VAN DER VLERK et P. H. HEUNEN.

CHAPITRE PREMIER

GENERALITES SUR LA GEOLOGIE ET SUR
LES GISEMENTS DE CHARBON DU BASSIN
SABINAS, COAHUILA, MEXIQUE

PLAN GENERAL DU CHAPITRE PREMIER

I. - LOCALISATION

II. - GEOGRAPHIE

III. - GEOLOGIE

A. - STRATIGRAPHIE

1- Secondaire (Crétacé)

a) Formation San Miguel

b) Formation Olmos

2- Tertiaire

a) Conglomérat Sabinas

3- Quaternaire

a) Lave Esperanzas

b) Terrasse de cailloux et de limon

B. - STRUCTURE

1- Anticlinaux

2- Synclinaux

a) Bassin de Sabinas

b) Bassin de Saltillito

3- Failles

C. - GEOLOGIE HISTORIQUE

IV. - LES DEPOTS DE CHARBON

A. - DESCRIPTION DES MINES

1- Bassin de Sabinas

a) Mines de Rosita

b) Mines de Sabinas

c) Mines de la Sauceda

2- Bassin de Saltillo

a) Mines de Barroteran

V.- GENERALITES SUR LE CHARBON DE LA
REGION DE SABINAS

A.- PROPRIETES PHYSIQUES

B.- PROPRIETES CHIMIQUES

Le principal travail concernant la géologie sur les gisements de charbon de cette région est celui de Robeck R.C., Pesquera R. et Ulloa S.A. intitulé "La Géologie et les Dépôts de charbon de la Région de Sabinas. Etat de Coahuila" publié en 1956 à l'occasion du XXè Congrès de Géologie Internationale qui a eu lieu à Mexico. Cette étude a été faite en collaboration avec le United States Geological Survey. José Delgado a également recueilli d'intéressantes observations qu'il a présentées dans la Convention de l'Association d'Ingénieurs Miniers et Métallurgistes qui a eu lieu à Torreon, Coah., en 1963, intitulé "Nos Ressources Houillères, leur Conservation et leur Contrôle" ouvrage non publié.

I. - LOCALISATION

Les dépôts de charbon du Nord-Est du Mexique occupent une surface importante des Etats de Coahuila et de Nuevo Leon (fig. 1). Néanmoins, les études de prospection indiquent que la portion sud-occidentale est celle qui présente les plus grandes perspectives du point de vue économique. La région appelée ainsi "Région Houillère de Sabinas" peut être localisée entre 27° et 28° de latitude Nord et 100°30 et 102° de longitude Ouest. Les principales villes de la région sont Nueva Rosita au Nord, Lampazos à l'Est et Monclova au Sud.

II.- GEOGRAPHIE

Cette région est une zone de transition entre le haut plateau, au Sud-Ouest, et la plaine côtière au Nord-Est. A l'exception de quelques collines à structure anticlinale, le reste est une plaine relativement uniforme. Son altitude varie entre 245 m et 400 m. Vers le Sud-Ouest de la plaine côtière, la région est caractérisée par des zones plissées et des bassins synclinaux; ces derniers occupent à peu près les 2/3 de la région. Le point culminant (1540 m) se trouve dans la Sierra de la Gloria, près de Monclova. A la suite d'un aplatissement et d'un remplissage de cailloux et de limon, la surface des bassins s'incline doucement du Sud-Ouest (650 m) vers le Nord-Est (370 m près de "Las Hermanas") où commence la plaine côtière.

La diminution progressive de l'élévation des bassins vers le Nord-Est se reflète sur le système fluvial, le ruissellement se fait vers l'Est par les rivières Salado et Sabinas, qui sont les seuls courants d'eau permanents.

La pluviosité moyenne au cours des derniers 50 ans est de 444.5 mm/An. Le climat de la région est chaud et sec pendant presque toute l'année; mais pendant les périodes de pluies (pluies légères) la quantité d'humidité est relativement haute.

III .- G E O L O G I E

A.- STRATIGRAPHIE

L'âge des roches sédimentaires qui affleurent dans la région s'étale du Jurassique à l'Holocène (Tabl. A). Ce sont essentiellement des calcaires, des grès et des pélites d'origine marine, ainsi que des couches rouges et conglomérats d'origine continentale qui comprennent des dépôts de charbon et de gypse. Une grande partie de la portion septentrionale de l'aire est couverte par des coulées de basalte. Dans les régions avoisinantes s'est produite durant le Tertiaire la mise en place de roches filoniennes.

Le tableau suivant montre la corrélation des formations du Crétacé dans la région de Sabinas :

(Page 4)

Au cours de ce travail, on emploiera la classification de Wentworth (1922) pour les sédiments clastiques. Les sédiments consolidés recevront les noms de : claystone (argile), mudstone, siltstone, grès et conglomérat en fonction de la taille du grain. Le terme lutite est employé uniquement pour décrire les roches argileuses fissiles à stratification mince.

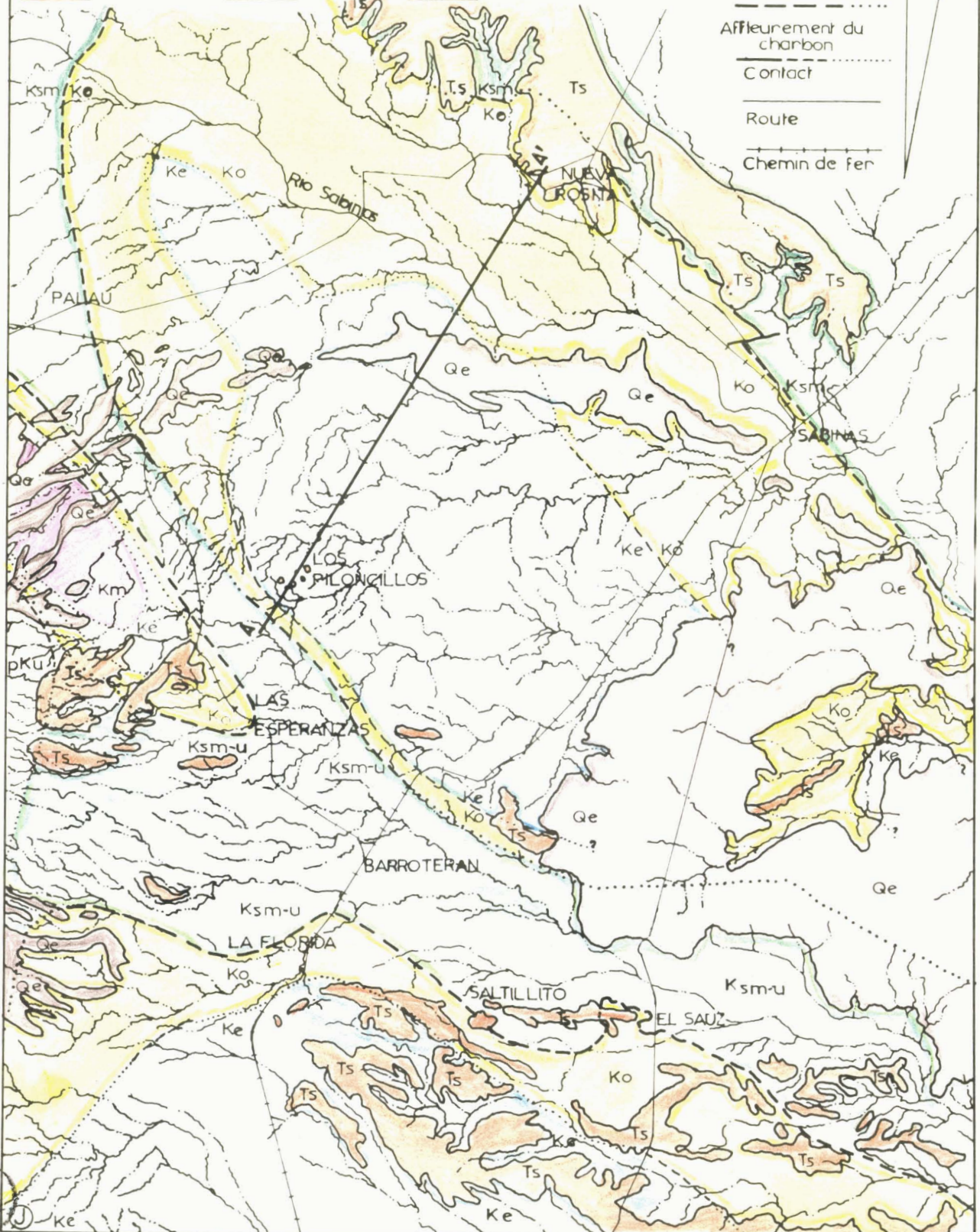
Dans la classification des roches détritiques proposée par Grabau (1904) fondée sur les étymologies latines, la limite de deux millimètres a été fixée entre les rudites et les arénites et 50 microns entre les arénites et les lutites (60 microns pour Niggli, 1938). Or, selon cette classification, toutes les roches argileuses sont des lutites. Dans la nomenclature des roches argileuses, à l'intérieur de la classe des lutites présentée par Millot (1964), il décrit l'argilite comme une roche commune formée en majeure partie d'un ou plusieurs minéraux argileux sans litage notable, c'est-à-dire, une roche essentiellement argileuse à texture homogène. Or, comme dit Millot, le mot argile désigne également des altérations, des boues, les minéraux argileux eux-mêmes, et des matériaux d'origine volcanique et hydrothermale. Le vocabulaire anglais paraît en ce cas, plus précis que le français : le mot clay veut dire argile, le mot mud veut dire boue; si bien que les roches argileuses qu'on appelle argilites en France peuvent donner claystone ou mudstone. Dans les roches argileuses et siliceuses à texture homogène nous trouvons l'argilite sableuse. Or, à l'intérieur des lutites on trouve le nom de silt pour désigner la fraction comprise entre 44 et 4 microns. Ceci est utile car, d'habitude dans ces limites, la roche est surtout siliceuse; si bien que parler des siltstone évoque les

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE SABINAS

- Qe L Esperanzas
- Ke F Escondido
- Km F Múzquiz
- Ts C Sabinas
- Ko F Olmos
- Ksm-u F.S.Miguel et A Upson

- pku C. Austin et formations subsistantes
- Affleurement du charbon
- - - Contact
- Route
- Chemin de fer

N NM 9°57'



BUS LILL

Tableau A

FORMATION DE LA REGION DE SABINAS	EQUIVALENT AU TEXAS	AGE
<u>Crétacé Supérieur</u>		
!Formation Escondido)	!Formation Navarro	: Maestrichtien
!Formation Olmos	!)Muzquiz	:
!Formation San Miguel ...)	..... Fin du Taylor	:) Campanien
!Argile Upson .....	..... Début du Taylor	:) Coniacien-Santonien
!Craie Austin .....	..... Austin	:
!Lutite Eagle Ford .....	..... Eagle Ford	:) Turonien, Fin du Cénomani-
!	:	:) Cénomani-
!	:	:
!Calcaire Buda .....	..... Washita	: Cénomani-
!Formation Grayson)	:
!	:	:
!	:	:
<u>Crétacé Inférieur</u>		
!	:	:
!Calcaire Aurora .....	..... Trinity et Fredericksburg	: Albien Inf. et Moyen
!	:	:
!Formation la Peña .....	..... Trinity	: Aptien
! Calcaire Cupido .....	)	:) Aptien Inf.
! Lutite La Mula	(..... Nuevo Leon	:(Barrémien)
! Calcaire Padilla .....	)	:) Fin Hauterivien)
!Lutite Barril Viejo ...)	)	:) Hauterivien (
!Calcaire Menchaca .....	..... Durango	: (Valanginien)
!	:	:) Berriasien) Néocomien
!	:	:

grandes tailles des lutites et la nature pétrographique très siliceuse. En français, ces roches sont appelées fréquemment pélites.

1- Secondaire (Crétacé)

Je me bornerai à décrire rapidement les formations postérieures à la Craie Austin et décrirai plus longuement les formations qui limitent les veines de charbon (fig. 2) : l'argile Upson est une formation constituée par 42 à 127 m de mudstone fissile de couleur grise; elle devient graduellement, vers le haut, du siltstone massif comportant quelques couches de grès avec plusieurs espèces de fossiles marins de la fin du Campanien; la formation Olmos,

336 à 958 m de siltstone et de grès continentaux avec des couches lenticulaires de charbon; la formation Escondido est constituée par 240 à 900 m d'une alternance de grès et de siltstone calcaire d'origine marine.

a.- Formation San Miguel

Cette formation est constituée par des mudstones fissiles qui passent progressivement, vers le haut, à un siltstone sans stratification et quelques grès stratifiés avec plusieurs espèces de fossiles marins de la fin du Campanien. D'après Imlay, l'Ostrea saltillensis Böse, indique un âge correspondant au Campanien. Les déterminations d'âge basées sur les foraminifères prouvent que la sédimentation a été continue pendant tout le Campanien.

Il est possible de distinguer dans cette formation les zones lithologiques suivantes :

-1- Zone fossilifère à concrétions. Elle a 39 m d'épaisseur et est formée de mudstone passant vers le haut à du siltstone. Près de la base, il y a de minces amas lenticulaires de calcaire. Les fossiles se trouvent soit dans les unités lutitiques soit dans les concrétions calcaires.

-2- Zone à couches de siltstone de 0,05 à 0,50 m d'épaisseur, alternant avec du siltstone sans stratification. Cette zone a à peu près 45 m d'épaisseur.

-3- Cette zone, d'une épaisseur de 68 m, commence par un grès blanc, constitué par du siltstone homogène avec un peu de grès argileux interstratifié. Vers le sommet ce siltstone argileux passe à un silt de sable fin. L'épaisseur des lits d'une même nature varie de 0,02 à 1 m.

-4- Zone de siltstone sans stratification de 87 m d'épaisseur.

-5- Zone de grès diastratifié de 38 m d'épaisseur; grès gris clair à grain fin à moyen, mal classé, le grès change latéralement pour devenir siltstone non stratifié. Dans la partie supérieure de la zone, il y a une couche de grès qui se trouve partout dans les bassins de Sabinas et de Las Esperanzas; les mineurs savent qu'au dessous de cette couche il n'y a pas de charbon.

Dans les cinq zones, on trouve l'Ostrea saltillensis qui n'existe jamais au dessus. L'Ostrea saltillensis est considérée comme du Campanien.

Le grès de la partie supérieur est considéré comme le contact ou la transition entre les couches du Campanien et celles du Maestrichtien. Il présente un dépôt de type littoral formé pendant la régression marine du Campanien.

La formation San Miguel a une épaisseur variable entre 246 m et 346 m.

b.- Formation Olmos

Il n'est pas facile de suivre individuellement les strates de

cette formation à cause de leur nature lenticulaire. Néanmoins, on peut déterminer 5 zones lithologiques.

-1- Zone du charbon : la couche de base de la zone du charbon contient des ammonites qui furent déterminées par Stephenson (1927) comme Sphenodiscus Meek et Coahuilites Böse du Maestrichtien. Cette zone a 36 m. d'épaisseur. Elle comprend une double veine de charbon et parfois deux ou trois veines lenticulaires, minces sur la double veine. Le reste de la zone est constitué par du siltstone à la base, qui passe vers le haut à du limon puis du sable fin. Il est remarquable que dans cette zone il y ait deux à cinq couches à concrétions ferrugineuses qui ont de 0,05 m à 1 m de diamètre. Elles ont une couleur grise qui par altération devient rouille. Cette zone est aussi caractérisée par la présence de couches et lentilles d'argile ou de limon, denses, charbonneuses et très dures désignées sous le terme d'"Hueso" (os) par les mineurs. D'habitude l'"os" se trouve associé uniquement avec les veines de charbon. Cette particularité est utile pour la prospection car, lorsque l'on trouve l'"os" dans le matériel détritique de la surface, il montre l'existence des veines. La couleur de l'"os" est noire, mais elle devient brune blanchâtre par altération.

Les couches supérieures de la zone du charbon sont fossilifères en certains endroits. Les fossiles sont des ostracodes à coquilles lisses, des gastropodes et des pélécy-podes. Dans certaines couches de mudstone, il y a des impressions de plantes fossiles qui n'ont pas été étudiées.

L'extension géographique de l'aire où se déposa originellement la double veine de charbon semble être la suivante :

L'axe du bassin devait commencer près de Eagle Pass, Texas, pour suivre, au Mexique, une direction à peu près parallèle à la route Piedras Negras-Monclova. La bordure orientale du bassin houiller doit suivre la direction : premièrement, Carrizo Springs, Texas-Lampazos vers le Sud et deuxièmement, de là jusqu'à un endroit non déterminé à peu près à mi-chemin entre Lampazos et la ville de Monterrey. La bordure occidentale n'est pas bien définie car elle est masquée par les produits de l'érosion et il est difficile de préciser les limites exactes de l'aire de dépôt originelle. Si l'on admet que le bassin est symétrique, la marge occidentale devrait se diriger à partir de Quemado, Texas, jusqu'à 40 kms à l'Ouest de Cuatro Cienegas, passant par le bord occidental de Muzquiz. La marge méridionale suivrait la ligne de Cuatro Cienegas à Panuco, passant par Castaños en allant vers le Sud-Est de Monterrey.

L'aire ainsi limitée semble avoir été un bassin houiller continu pendant le dépôt de la double veine de charbon. Il a été appelé Bassin Houiller de Coahuila. On connaît des charbons du même âge à Ojinaga, Chihuahua, et dans la partie occidentale du Texas, mais ils se sont déposés, peut-être, dans des bassins séparés.

Après le dépôt de la double veine de charbon, on n'a pas eu de sédimentation aussi continue dans le bassin de Coahuila. Au Sud et au Sud-Est de Las Esperanzas, la présence d'autres veines au dessus de la double veine est une exception. A l'aide de forages faits aux alentours de Nueva Rosita, on a pu couper des veines lenticulaires minces très au-dessus de la double veine. A Eagle Pass il y a des veines de charbon jusqu'à 10 m au moins du sommet de la forma-

tion Olmos. Ceci est une preuve que l'extension du bassin se réduisait après le dépôt de la double veine.

-2- Autres zones. Les caractéristiques et l'épaisseur du grès diastratifié sont très variées. Dans certains endroits cette zone contient du bois pétrifié ainsi que des gastéropodes. Il y a quelques couches de siltstone et des strates minces de mudstone alternant avec les grès. Localement, on trouve du grès remplissant des chenaux creusés dans la zone du charbon, mais on ne connaît pas d'endroit où ces chenaux coupent complètement la double veine de charbon.

On peut facilement dresser la carte de cette zone de grès car celui-ci est très résistant à l'altération et en général il affleure bien. Ce grès est pour beaucoup de raisons, très semblable, lithologiquement, à la zone de grès qui se trouve immédiatement sous le charbon; mais il en diffère par son contenu en bois pétrifié. A la fin du dépôt de la double veine de charbon, la plaine commença à se couvrir de limon et les arbres se développèrent jusqu'à avoir des diamètres d'au moins 1 m. Quand ils se sont abattus ils ont pu se conserver dans les sables de cette zone. Lorsque le limon se redéposa, d'autres arbres se développèrent qui à leur tour furent détruits.

Les gastéropodes et les ostracodes, qui se trouvent dans les sables de cette zone peuvent provenir tantôt d'eaux marines, tantôt d'eaux saumâtres.

-3- La troisième zone est constituée par du siltstone massif. Elle est presque toujours cachée à cause de son manque de consistance. Elle a une trentaine de mètres d'épaisseur.

-4- Zone de conglomérat. Elle a 148 m d'épaisseur en moyenne, elle est constituée par des sédiments déposés en cycles. Le conglomérat ou le grès blanc à gros grain à la base d'un cycle, devient graduellement du limon et de la boue dans les couches supérieures. Chaque cycle a plus ou moins 20 m d'épaisseur.

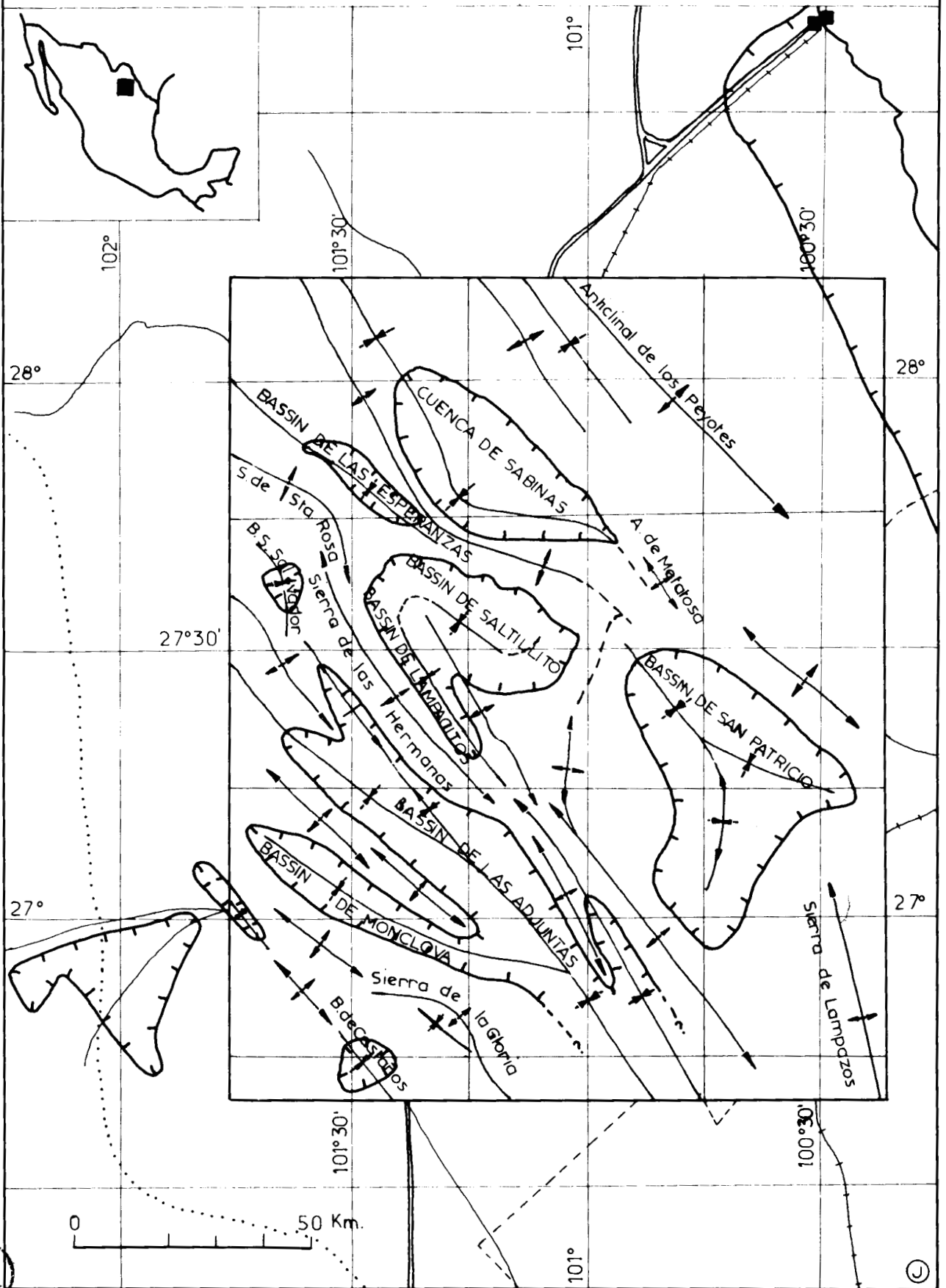
-5- La zone supérieure de siltstone massif a une épaisseur d'environ 79 m. Elle est constituée par du siltstone et du mudstone massif et un peu de siltstone et de grès à stratification mince.

2- Tertiaire

a.- Conglomérat Sabinas

Pendant la période tertiaire toute la région resta au-dessus du niveau de la mer, donc sujette à l'érosion. Au cours du Tertiaire (Pliocène ?) sur un tiers du bassin environ, il y a eu dépôt d'une couche très étendue de cailloux qui a formé ce qu'on appelle le Conglomérat Sabinas. La formation est constituée uniquement par les terrasses de cailloux les plus hautes qui normalement se lèvent de 20 à 30 m au-dessus des vallées adjacentes. Le conglomérat consiste en cailloux de calcaire plus ou moins cimentés par du carbonate de calcium, la taille des constituants variant entre des blocs anguleux d'un mètre de diamètre, près des montagnes, jusqu'aux petits cailloux de 0,05 m de diamètre à 70 km des montagnes.

ESQUISSE STRUCTURALE DE LA REGION DE SABINAS



d'après Robeck, Pesquera et Ullao 1956

3- Quaternaire

a.- Lave Esperanzas

Pendant le Quaternaire, il y a eu au moins 7 fissures qui ont permis les sorties de lave. Ces coulées sont maintenant couvertes par une couche mince de sol qui nous montre qu'elles ont au moins 15 000 ans, mais le manque d'érosion indique que leur âge ne dépasse pas les 50 000 ans c'est-à-dire qu'elles remontent au Pleistocène.

b.- Terrasse de cailloux et de Limon.

Pendant le Quaternaire, il y eut aussi en certains endroits des dépôts de quantités très variables de cailloux et de limon qui sont restés soumis à l'érosion. Probablement, il y eut plusieurs facteurs (d'origine tectonique, climatique, volcanique) qui causèrent l'obstruction des lits des ruisseaux ce qui a permis la formation des sables mouvants et des lacs éphémères pendant le Pliocène et le Pleistocène.

Tous ces dépôts dont l'âge correspond de la fin du Tertiaire à l'Holocène ont couvert les roches crétacées à peu près sur la moitié de la région.

B.- STRUCTURE

Les roches de la région prennent la forme d'anticlinaux et de synclinaux de dimensions relativement grandes. Ces structures présentent des complications locales telles que des plis couchés ou des plis subordonnés dans les calcaires à stratification mince et des amincissements dans le cas des formations de lutites; ces roches témoignent aussi de l'intrusion de gypse et d'éléments éruptifs. Les roches plissées les plus jeunes appartiennent à la fin du Crétacé et étant donné que sur celles-ci reposent, en position discordante, le Conglomérat Sabinas considéré comme étant du Pliocène, on suppose que ces plissements se sont effectués pendant cet intervalle de temps (fig. 3).

1- Anticlinaux

La plus longue des structures est celle de l'anticlinal de la Sierra de Santa Rosa lequel à 120 km de long; la plus courte est l'anticlinal de Metatosa qui a seulement 10 km. L'anticlinal de la Sierra de la Gloria s'élève jusqu'à 2 200 m au-dessus du niveau de la mer et 1 540 m au-dessus des vallées adjacentes. Il présente le plus grand relief structural de la région; celui qui présente le plus petit relief est l'anticlinal de Metatosa avec 700 m.

Tous les anticlinaux plongent sur leurs extrémités vers les bassins contigus. En général, la crête des anticlinaux a la même élévation pendant plusieurs kilomètres mais, sur leurs extrémités ils s'inclinent brutalement vers les bassins.

Les anticlinaux sont d'habitude plus inclinés sur leur côté Nord-Est où il est commun de trouver des inclinaisons de 70°, même si dans certains endroits les couches sont verticales ou légèrement renversées. Les flancs Sud-Ouest de la plupart de ces structures présentent une inclinaison variable entre 20° et 60°.

Dans plusieurs endroits, on a trouvé du gypse d'âge jurassique "injecté" dans les anticlinaux.

2- Synclinaux

Les synclinaux sont des bassins structuraux qui correspondent morphographiquement aux bassins topographiques. Les bassins du Nord-Est de la Sierra de Los Hermanas sont généralement peu profonds et de forme elliptique, tandis que ceux qui se trouvent vers le Sud-Ouest sont profonds, allongés et étroits.

La figure n° 1 montre les huit bassins houillers les plus importants.

Je me bornerai uniquement à la description des bassins de Sabinas et du Saltillito d'où viennent les échantillons de charbon étudiés palynologiquement et pétrographiquement. Les autres bassins sont : le bassin de Las Esperanzas, le bassin de Lampacitos, le bassin de San Patricio, le bassin de Las Adjuntas, le bassin de Monclova, le bassin de San Salvador, ainsi que d'autres petits bassins et aires comportant des dépôts de charbon. (fig. 2 et 3; Dépliant B.)

a.- Bassin de Sabinas

Le Bassin de Sabinas qui est le plus connu à cause de son exploitation de charbon a 62 km de long, et 24 km de large (fig. 2 et 3; Dépliant 1). La profondeur maximum à laquelle on trouve la double couche de charbon est de 440 m à peu près à 6 km à l'Est de Los Piloncillos.

Sur le flanc Nord-Est du Bassin, l'inclinaison de la double veine de charbon est généralement de moins de 4°; sur les côtés Ouest et Sud-Ouest elle augmente jusqu'à 6° à Santa Maria, à 8° à Palau, à 15° à Rancherrias et au maximum jusqu'à 55° à El Coyote (sur le flanc occidental). A partir de cet endroit, le pendage rediminue jusqu'à avoir près de 25° à l'endroit où la lave du Cacanapo Grande cache l'affleurement. Sur le côté Est du bassin, au Sud-Est de El Hondo, les couches sont presque horizontales sur une certaine étendue; à cet endroit, l'inclinaison moyenne est à peu près de 3°.

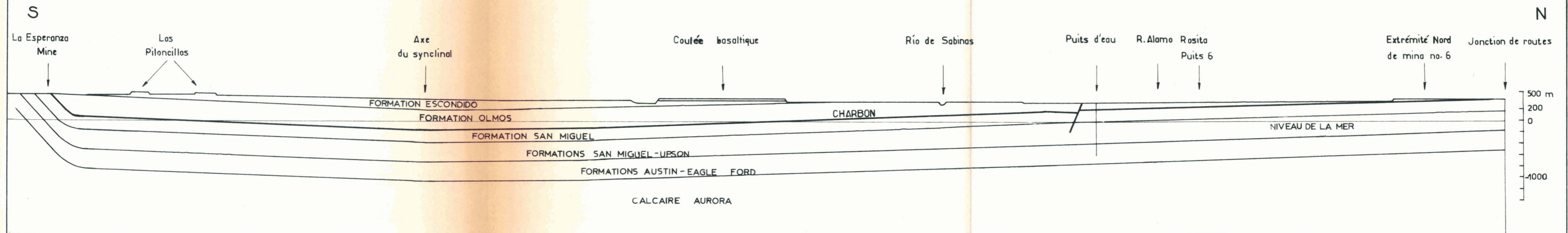
A l'intérieur de cet ample bassin à pente douce, on trouve des structures subordonnées peu importantes, dans toutes les mines on peut apprécier des changements locaux du pendage de la double couche de charbon.

b.- Bassin de Saltillito

Le Bassin de Saltillito se trouve au Sud du Bassin de Sabinas, il a 47 km de long et 23 km de large. On considère que la plus grande profondeur de la double veine de charbon est de 1 400 m aux alentours du Rancho de El Carbonicillo (fig. 2 et 4).

La moindre inclinaison des couches est de 1° dans la mine de El Sauz. Cette inclinaison augmente jusqu'à 3° sur le bord Est du bassin. On ne trouve pas d'affleurement le long du bord méridional du bassin mais d'après la manière de se présenter des roches supra et subgisantes au charbon, on peut dire que la double veine ne doit avoir une inclinaison que de 8°. Vers l'Ouest de El Sauz,

COUPE DU BASSIN DE SABINAS



d'après Robeck R, Pesquera R et Ulloa S. 1956



l'inclinaison augmente graduellement de 5° dans la mine n° 3 Del Saltillito jusqu'à 12° à la Florida. L'inclinaison connue sur le flanc Nord-Occidental est de 20° près du Rancho de Palo-Blanco; dans les exploitations de la Luz, la plus grande partie de ce flanc a une inclinaison de 10°. A partir de cet endroit, la direction change brutalement vers le bord sud-occidental du bassin et l'inclinaison augmente jusqu'à 90° sur une distance relativement courte.

3- Failles

La seule évidence qu'il y ait des failles est la présence de miroirs de faille, d'amincissements et d'autres détails de moindre importance, développés parallèlement à la stratification, dans les endroits où les couches sont verticales ou sont renversées.

Le déplacement le plus grand que l'on connaisse dans les bassins, se trouve à la mine n° 6 de Nueva Rosita où il est de 35 m. On connaît plusieurs failles à déplacement de moindre importance.

Les failles peuvent être divisées en deux types principaux : celles qui sont formées à partir d'un tassement non uniforme et celles qui résultent de forces de plissement. A l'endroit où les lentilles de sable non consolidées passent latéralement à des couches de boue, le poids des sédiments supérieurs a pu faire naître des lignes de moindre résistance car les boues se sont plus tassées que les sables. Là où les différences de forces furent suffisamment grandes on trouve des failles. Ces failles, communes dans toutes les mines, ont en général des déplacements de 5 à 10 cm et parfois quelques mètres.

C .- GEOLOGIE HISTORIQUE

Au début du Crétacé, la Péninsule de Coahuila était une masse continentale à bas relief localisée à l'Ouest de la région étudiée. Elle était soumise à un lent processus d'érosion qui produisit une grande quantité de sédiments clastiques fins, qui après transport et dépôt formèrent les membres lutitiques du Crétacé Inférieur. Il y eut aussi un dépôt de carbonate de calcium en grande quantité dans les zones à eaux profondes ainsi que dans les zones saumâtres qui entouraient la péninsule de Coahuila. A la fin du Crétacé Inférieur la partie occidentale de la région était déjà émergée mais celle-ci fut recouverte par les mers transgressives du Crétacé Supérieur; ceci permet le dépôt de la boue et du limon dans les chenaux de dissolution du sommet du Calcaire Aurora.

Les conditions marines persistèrent jusqu'à la fin du Campanien en permettant le dépôt d'une section constituée par un tiers de sédiments calcaires et le reste de boue. A la fin du Campanien se déposa du limon avec de la boue (formation San Miguel).

Quand la mer du Campanien se retira, il resta une plage de sable blanc sur presque toute la région (grès blanc qui se trouve sous le charbon).

Le sable blanc fut recouvert par de la boue et la flore qui se développa sur elle fut suffisamment abondante pour permettre la formation de dépôt de

tourbe d'épaisseur et de qualité non uniforme (formation Olmos). Dans ces lieux, où l'action des courants était presque nulle, le dépôt de la tourbe fut mince et là où se déposait de la boue le dépôt fut épais mais de basse qualité. Au début, l'aire où se déposaient les sédiments charbonneux allait à peu près d'Eagle Pass vers le Sud jusqu'à Castanos et de Lampazos vers l'Ouest jusqu'à Cuatro Ciénegas, mais au cours des temps la surface se réduisit et migra vers le Nord; c'est ainsi que l'on trouve très peu de couches de charbon déposées sur la double veine de la formation Olmos dans le Bassin de Sabinas, contrairement à Eagle Pass, où il existe des couches de charbon au-dessous du sommet de la formation Olmos.

Les conditions pendant le dépôt de la formation Olmos ont varié : elles furent tantôt paludéennes, tantôt marines ou continentales. La formation Esccondido marque le début des conditions essentiellement marines sous lesquelles se sédimentèrent les sables et les limons provenant des terres hautes voisines. Ces terres hautes occidentales donnèrent aussi origine aux boues et limons qui aujourd'hui forment les roches à couleur rouge clair et grise de la formation Muzquiz, contemporaine de la partie supérieure de la formation d'origine marine et littorale, et vers le Sud-Ouest des sédiments continentaux et littoraux intercalés selon les fluctuations subies par la ligne de la côte.

A la fin du Crétacé, toute la région émergea à la suite de plissements et l'érosion commença sur les crêtes des anticlinaux. Les détritiques furent traînés vers la mer et ce n'est qu'à la fin du Pliocène qu'il y eut de nouveaux dépôts de sédiments dans les bassins et les vallées, lesquels formèrent le Conglomérat Sabinas. Pendant le Pleistocène certaines zones non résistantes permirent l'épanchement de lave.

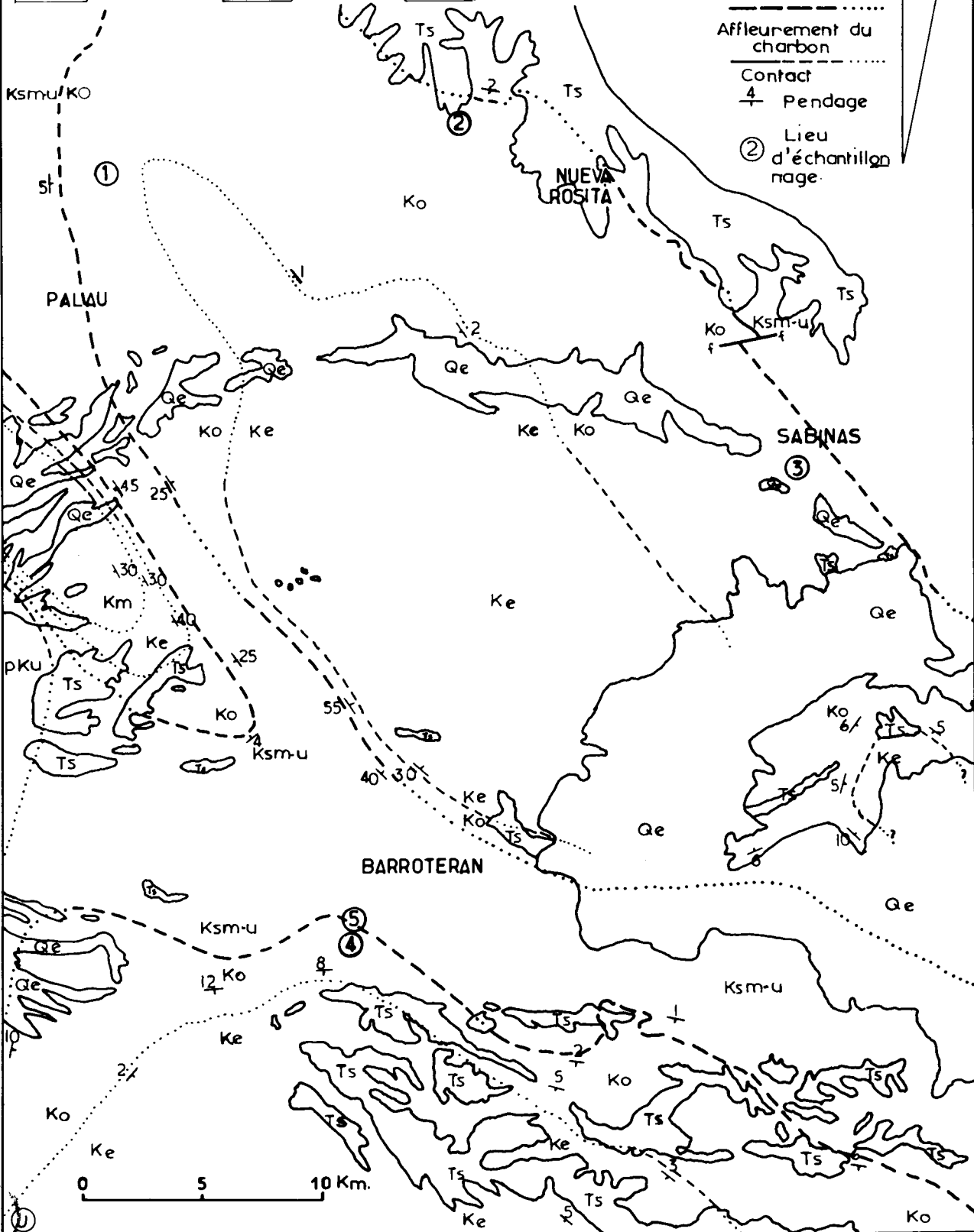
Il est probable que les mouvements tectoniques, les épanchements de lave et les changements climatiques ont, en modifiant le régime des cours d'eau, permis le dépôt d'alluvions dans les bassins et les vallées. Récemment, l'action de l'eau a ouvert des chemins à travers ces matériaux et les rivières ont approfondi leurs lits sauf dans les endroits proches des montagnes où l'on trouve encore des cailloutis.

IV .- LES DEPOS DE CHARBON

Le charbon se trouve actuellement dans des bassins et la superficie qu'il occupe représente au total à peine un tiers de l'aire où il se déposa; la seule couche exploitable est la double veine; localement, il y a d'autres veines plus récentes, mais étant donné leur caractère lenticulaire elles ne sont pas exploitables. L'épaisseur et la qualité de chacune des veines diffèrent d'un lieu à l'autre, ainsi que l'épaisseur de la roche qui les sépare. Lorsque cette roche à 10 cm d'épaisseur et que les deux veines ont une épaisseur minimum de 2 m, le charbon peut être exploité commercialement par les grandes compagnies. L'exploitation des petites superficies peut être rentable pour de petites entreprises si la couche de roche ne dépasse pas 20 cm d'épaisseur et si le total des cendres ne dépasse pas 40 %. Dans les aires où l'inclinaison des veines est modérée ou très forte, le charbon peut être broyé et accuser de grands changements d'épaisseur sur des distances très courtes.

LIEUX DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Qe	L. Esperanzas	Ke	F. Escondido	Km	F. Múzquiz	pku	C. Austin et formations subgisantes.
Ts	C. Sabinas	Ko	F. Olmos	Ksm-u	F. S. Miguel et Upson		



d'après Robeck, Pesquera et Ulloa 1956

A.- DESCRIPTION DES MINES

Je ferai uniquement une description des mines d'où proviennent les échantillons étudiés (fig. 4).

1- Bassin de Sabinas

a.- Mines de Rosita

Ces mines se trouvent à la ville de Nueva Rosita à 15 km au Nord-Ouest de Sabinas. Les opérations minières dans cette aire commencèrent en 1905 par la Cia. carbonifera de Sabinas, S.A. et son exploitation continue actuellement. La mine n° 6 de Rosita est celle qui fournit la plus grande production au Mexique.

Les mines où commença l'exploitation du charbon se développèrent près de l'affleurement. Le charbon de la partie occidentale est sale, celui de la partie orientale est de qualité moyenne.

Dans la mine n° 6 le charbon a 30% de cendres mais à l'aide d'un lavage mécanique on peut l'abaisser à 16% afin que le coke produit dans les fours ait 20% au maximum. La double veine de charbon a une épaisseur qui varie entre 1,1 et 3,1 m; dans la mine n° 6 de Rosita, la moyenne est de 1,9 m; la roche qui sépare les deux veines est relativement mince. Le charbon a un pendage doux vers le Sud-Ouest et il est coupé par de nombreuses failles, quelques unes se continuant sur 2 km. La faille la plus importante a une direction Est, Nord-Est et elle est plus ou moins perpendiculaire à la direction de la stratification. Seule quelques failles courtes sont parallèles à la direction de la double veine de charbon; d'autres, ne suivent pas une direction définie. Le plus grand déplacement est de 35 m.

b.- Mines de Sabinas

La "Cia. carbonifera de Sabinas", S.A. exploite une aire au Sud de la Ville de Sabinas. Cette aire a été délimitée au moyen de sondages. Etant donné que l'inclinaison de la double veine de charbon est faible, on peut employer dans l'exploitation des machines très modernes et très spécialisées.

L'épaisseur du charbon varie entre 1,7 et 2,5 m et la teneur en cendres entre 22 et 30%.

c.- Mines de La Saucedá

Cette mine se localise sur le bord occidental du bassin à peu près à 12 km au Nord-Est de Muzquiz. Elle se trouve sous la même administration que les mines de Palau situées à 30 km à l'Ouest-Nord-Ouest de Sabinas.

L'aire d'exploitation fut délimitée à l'aide de Sondages, mais peu après on s'aperçut que la couche de roche qui sépare les deux veines augmentait d'épaisseur à certains endroits rendant l'exploitation non rentable. Ce n'est qu'à l'aide de machines spécialisées que l'on a pu, il y a quelques années reprendre l'exploitation du gisement. L'épaisseur du charbon a deux mètres de moyenne et

la teneur en cendres varie entre 20 et 28 %.

A quelques kilomètres au Sud se trouvent les mines de Palau. A cet endroit, la double veine de charbon est plus ou moins uniforme et la couche de roche qui sépare les deux veines est constituée par du siltstone clair avec une épaisseur moyenne d'à peu près 35 cm. La double veine de charbon a une épaisseur moyenne de 1,70 m et la teneur en cendres est de 20 %.

2- Bassin de Saltillo

a.- Mines de Barroteran

Elles se trouvent au Sud de Barroteran. Elles sont sous l'administration de la "Cia. carbonifera de Coahuila". Dans cette aire on trouve une seule veine de charbon avec un ou plusieurs filets de roche intercalés. La veine a une épaisseur qui varie entre 1,6 et 2,3 m avec 1,80 m de moyenne.

Sur le bord Nord-Oriental de l'aire, où l'on trouve la Mine N° 5, le charbon est sale. La teneur en cendres varie entre 29 et 32 %.

V .- GENERALITES SUR LE CHARBON DE LA REGION DE SABINAS

A.- PROPRIETES PHYSIQUES

Le charbon dans la région de Sabinas est noir brillant. Le poids spécifique du charbon pur est voisin de 1,28, mais il augmente évidemment un peu quand on considère les veines dans leur totalité, ceci étant dû aux sédiments instratifiés dans le charbon. Ce charbon se casse facilement en blocs quand il est manipulé et en général le charbon le plus pur s'émiette en se transformant en "fins" qui ont à peu près 15 % de cendres et peuvent directement aller au fours à coke. La majeure partie des cendres se trouve intimement liée au combustible en morceaux et ne peut en être séparée par lavage. Il s'agit essentiellement de silicates. La roche des couches interstratifiées avec le charbon, peut être, par contre séparée facilement. Une autre impureté est la pyrite. On n'observe que très rarement des lentilles de pyrite car le plus souvent ce minéral est disséminé dans la veine.

Lorsque le charbon reste exposé aux intempéries et à l'air libre, il se couvre d'une substance blanche cendreuse qui peut le rendre plus résistant aux altérations que le siltstone qui l'encaisse.

B.- PROPRIETES CHIMIQUES

Les analyses des échantillons de charbon pris dans plusieurs mines nous montrent en général que le charbon de la région de Sabinas a une moyenne de 20 % de M. V. (matières volatiles), 53 % de C fixe et 23 % de cendres. Les échantillons analysés varient entre le charbon bitumineux de volatilité basse et le charbon bitumineux à volatilité moyenne. Dans la classification de Gruner, ils correspondent aux houilles à coke. Classification dans laquelle les M.V. montent jusqu'au maximum de 24,5%. Dans les régions où les couches

conservent leur position originale le charbon contient un haut pourcentage de M. V. tandis que dans les aires plissées une grande partie du charbon contient un bas pourcentage de M. V.

Le pourcentage des M. V. permet, en général, de savoir si le charbon peut être ou non utilisé dans la fabrication du coke. Les charbons les plus appropriés pour la fabrication du coke ont entre 18 et 26% de M. V. Un autre facteur important dans la fabrication du coke est le contenu des cendres. Dans les fours à récupération des sous-produits le charbon ne doit pas excéder 15% de cendres afin d'avoir un coke à 19,5% de cendres. Lorsque le contenu des cendres est plus grand, le produit perd sa fermeté et par conséquent une grande partie de sa valeur. Dans la région de Sabinas, il est difficile de trouver du charbon dans lequel la quantité de cendres ne soit pas supérieure à celle autorisée pour la fabrication du coke. C'est ainsi qu'il est nécessaire de mélanger deux types de charbon afin d'obtenir un produit satisfaisant.

Lorsque le charbon n'est pas employé pour la fabrication du coke, il est utilisé comme combustible industriel; le charbon que l'on destine à cet emploi appartient au charbon en morceaux, à cendre inhérente.

Dans le tableau C et dépliant D.1. sont mentionnés, les résultats des analyses chimiques concernant les échantillons prélevés à proximité des lieux d'où proviennent les échantillons étudiés palynologiquement et pétrographiquement.

Analyse des échantillons de charbon faite par les Laboratoires de l'Institut Mexicain d'Investigations Technologiques du "Banco de México, S.A".

Tableau C

MINE	Forme de l'Analyse	Humidité Superficielle	Humidité Totale	Matière Volatiles	Carbone fixe	Cendres	Soufre	Pouvoir calorifique en Unités thermiques B. T. U.
N°6 de Rosita	A	2.82	3.68	24.21	51.73	20.38	-	-
	B	-	-	25.13	53.71	21.16	1.06	11,830
	C	-	-	30.06	69.94	-	-	-
N°1 de Sabinas	A	2.30	3.00	19.27	48.24	29.49	-	-
	B	-	-	19.86	49.73	30.41	0.66	10.465
	C	-	-	25.70	74.30	-	-	-
La Sauceda	A	2.39	3.49	20.83	47.50	28.16	-	-
	B	-	-	21.58	44.24	29.18	1.22	10.580
	C	-	-	28.18	71.82	-	-	-
Pozo 15 de Barroteran	A	1.16	2.47	20.59	52.60	24.34	-	-
	B	-	-	21.11	53.93	24.96	1.38	11.280
	C	-	-	25.62	74.38	-	-	-
N°1 de Barroteran	A	0.73	1.64	20.76	50.57	27.03	-	-
	B	-	-	21.11	51.41	27.48	1.58	10.810
	C	-	-	26.32	73.68	-	-	-

A = Charbon tel qu'il est reçu

B = Charbon libre d'humidité

C = Charbon libre d'humidité et des cendres.

CHAPITRE DEUXIEME

LA PALYNOLOGIE

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

ANALYSE DES ECHANTILLONS DE CHARBON FAITE PAR LE U.S. BUREAU OF MINES

1956

MINE	Epaisseur du charbon dans l'échantillon en mètres	Forme de l'Analyse	Analyse Immédiate				Analyse Définitive						Pouvoir calorifique en Unité Thermiques Britanniques (B.T.U.)	Indice de Gonflement	Température de fusion des cendres en degrés centigrades	+ Rang du Charbon
			Humidité	Mat.	C	Cendres	H	C	N	O	S	Cendres				
				Vol.	fixe											
Pourcentage																
N° 6 de ROSITA	1.52	A	2.8	24.4	53.5	19.3	4.7	66.4	1.2	7.3	1.1	19.3	11.860	9	2) 1.599	Bit. V.M. (70-150) CG
		B	-	25.1	55.1	19.8	4.5	68.4	1.2	5.0	1.1	19.8	12.210			
		C	-	31.3	68.7	-	5.6	85.3	1.5	6.2	1.4	-	15.230			
N° 1 de SABINAS	1.42	A	2.5	19.3	48.5	29.7	4.0	57.5	1.0	7.2	0.6	29.7	10.120	7.5	2) 1.599	Bit. V.M. (74-149) AB
		B	-	19.8	49.8	30.4	3.8	59.0	1.1	5.1	0.6	30.4	10.380			
		C	-	28.4	71.6	-	5.5	84.8	1.5	7.3	0.6	-	14.930			
La SAUCEDA	1.90	A	5.4	20.5	51.6	22.5	4.4	61.8	1.1	9.0	1.2	22.5	10.950	7.5	2) 1.266 3) 1.316 4) 1.477	Bit. V.M. (74-145) AB
		B	-	21.7	54.5	23.8	4.0	65.4	1.1	4.5	1.2	23.8	11.580			
		C	-	28.5	71.5	-	5.2	85.9	1.5	5.8	1.6	-	15.210			
N° 1 de BARROTERAN	1.12	A	2.6	20.5	56.3	20.6	4.3	65.8	1.1	6.7	1.5	20.6	11.640	9	2) 1.421 3) 1.488 4) 1.543	Bit. V.M. (76-150) AB
		B	-	21.1	57.7	21.2	4.1	67.6	1.1	4.5	1.5	21.2	11.950			
		C	-	26.7	73.3	-	5.2	85.8	1.4	5.7	1.9	-	15.170			
Pozo 15 de BARRCTERAN	1.52	A	1.8	20.9	59.3	18.0	4.3	69.4	1.2	5.1	2.0	18.0	12.240	9	2) 1.288 3) 1.310 4) 1.421	Bit. V.M. (76-155) AB
		B	-	21.3	60.4	18.3	4.2	70.6	1.2	3.7	2.0	18.3	12.460			
		C	-	26.0	74.0	-	5.2	86.5	1.5	4.3	2.5	-	15.260			

1) Tous les échantillons sont de " canal "

A = Charbon, tel qu'il est reçu

B = Libre d'humidité

C = Libre d'humidité et des cendres

2) Température de déformation initiale

3) Température de ramollissement

Bit. V.M. = Bitumineux à volatilité moyenne

4) Température de fluidité

(70-150) CG ou AB = Symbole de spécification D 388-38 de l'American Society for Testing Materials dans la classification du charbon par le rang. Le premier chiffre représente C fixe sur base sèche et libre de matières minérales. Le second la valeur calorifique du charbon en centaines de B.T.U. sur base humide et libre de matières minérales.

+ Les lettres AB et CG indiquent que le charbon est bon agglutinant.

PLAN GENERAL DU CHAPITRE DEUXIEME

I .- INTRODUCTION

II .- LA PALYNOLOGIE

III .- HISTORIQUE

IV .- GENERALITES

A.- LES SPORES

1- Définition

2- L'origine des spores

3- Plantes isosporées et hétérosporées

a.- hétérosporie génotypique

b.- hétérosporie phénotypique

4- La taille des spores

5- La forme des spores

6- La fissure germinale

7- La paroi des spores

a.- couleur

b.- composition chimique

c.- structure

d.- sculpture

e.- les formations équatoriales, les épaisissements et les plis

8- Homotypie des spores

9- La production et la dispersion des spores

B.- LE POLLEN

1- Définition

2- L'origine des grains de pollen

- 3- La taille des grains de pollen
- 4- La forme des grains de pollen
- 5- La paroi des grains de pollen
 - a.- structure
 - b.- sculpture
- 6- Les ouvertures
 - a.- les mécanismes de la germination
 - b.- les différents types d'ouvertures
 - c.- détails de la constitution des ouvertures
 - d.- la distribution des ouvertures
 - e.- la nature des ouvertures et la taxonomie
- 7- Homotypie et hétérotypie des grains de pollen
- 8- Production et dissémination du pollen
 - a.- pollinisation anémophile
 - b.- pollinisation hydrophile
 - c.- pollinisation zoïdophile
- 9- Distance de transport et dissémination du pollen dans les sédiments
 - a.- intérêt botanique
 - b.- intérêt géologique
 - c.- les conditions de dépôt

C.- DIFFERENCES ENTRE LES SPORES ET LE POLLEN

- 1- Différences biologiques
- 2- Différences concernant la fente germinale
- 3- Différences en composition et en structure de la paroi

I .- INTRODUCTION

Actuellement il existe plus de 300 000 espèces de plantes vivantes et plus de 1 100 000 espèces d'animaux vivants; la Botanique et la Zoologie étudient les types actuels des plantes et des animaux. Mais toutes ces espèces ont-elles toujours existé ? Comment se sont-elles formées ? Quelles sont leurs origines ? La Paléontologie est une science à laquelle sont réservées les investigations sur les plantes et les animaux du passé géologique. Elle se consacre à la recherche des animaux et végétaux fossiles, qui sont des vestiges de la vie passée et qui constituent des preuves de leur ancienne existence. Elle essaie d'expliquer ces questions en reconstruisant les chemins par lesquels ces êtres sont parvenus, à travers les temps, aux formes actuelles. Il s'agit donc de leur histoire évolutive ainsi, évidemment, que de leur systématique.

La Paléontologie peut être divisée en :

- 1) La Paléozoologie et Paléobotanique selon que les études portent sur les animaux ou les plantes fossiles.
- 2) Paléomacrontologie et Paléomicrontologie si les animaux et végétaux fossiles étudiés sont du domaine macro- ou microscopique.
- 3) Paléontologie pure et appliquée selon le but poursuivi.

La Paléobotanique est née en France, elle a été fondée par Adolphe BRONGNIARI au cours des premières années du dernier siècle (255). A ses débuts elle eut un caractère exclusivement de recherche pure, mais peu à peu elle est arrivée à être une science appliquée. La Paléobotanique pure étudie les plantes fossiles en tant que vestiges de la vie végétale. La Paléobotanique appliquée est orientée vers l'interprétation des connaissances qui peuvent être acquises à la suite de l'étude des plantes anciennes dans le but de leur utilisation dans d'autres domaines de la science. En effet, la Paléobotanique appliquée est orientée vers l'utilisation pratique des résultats qui ont été obtenus grâce aux recherches de la Paléobotanique pure.

Les principales applications de la Paléobotanique se trouvent dans la Géologie, la Géographie et la Botanique.

L'application géologique de la Paléobotanique est orientée vers la détermination de l'âge des roches, en utilisant les fossiles caractéristiques ou bien les associations de formes fossiles qui ont une distribution verticale très grande, et qui vivent ou ont vécu à travers une ou plusieurs ères (fossiles à grande survie); elle s'oriente également vers la distribution stratigraphique de ceux-ci ainsi que vers l'étude du caractère phylogénétique de certaines roches (diatomites, charbon, certains calcaires d'algues, etc...).

L'application géographique de la Paléobotanique est basée sur l'étude des plantes fossiles afin d'essayer d'expliquer et de comprendre : leur distribution sur les terres et les mers des époques passées (Paléogéographie), ainsi que le climat existant (Paléoclimatologie) et quelques problèmes d'adaptation au milieu (Paléoécologie). Il ne faut pas oublier que les plantes ont été appelées le thermomètre des âges géologiques.

L'application botanique de la Paléobotanique est basée sur la connaissance des plantes fossiles afin de résoudre les problèmes appartenant à la morphologie comparée, à la reconstitution de l'anatomie des plantes déjà éteintes et à leur histoire évolutive, éléments qui sont à la base de la classification naturelle des végétaux.

Pourtant, comme le fait remarquer Maldonado-Koerdell (239), certaines difficultés dues à la nature propre des restes fossiles végétaux qui sont toujours

fragmentaires empêchent souvent de se faire une idée complète de leur identité, leur organisation et leur distribution dans le temps et dans l'espace. C'est pour cette raison que certaines déterminations de caractère taxonomique en Paléobotanique ont seulement une valeur relative. En effet, elles ont eu recours à des subterfuges de classification pour pouvoir se faire comprendre; c'est ainsi qu'il faut considérer comme simples catégories descriptives quelques "formes génériques" qui indiquent plutôt des dénominations provisoires en attendant une connaissance meilleure du végétal entier.

Le cas de la plante carbonifère qui a été globalement appelée Lepidodendron est particulièrement caractéristique dans ce domaine : c'est en effet l'empreinte de l'écorce du tronc qui porte le nom de Lepidodendron, quant aux feuilles qui lui correspondent, elles sont appelées Lepidophyllum et les racines, ce sont des Stigmaria. Enfin l'appareil fructifère de cette même plante est dénommé Lepidostrobus et ce cône renferme des spores appelées Lycospora et Cirratriradites.

Différents processus de fossilisation ont permis aux plantes anciennes de se conserver plus ou moins complètement jusqu'à nos jours. A cause de la constitution propre des tissus végétaux, ces formes ont été moins bien préservées que celles des animaux; la cause de ceci est due généralement à ce que les conditions propices pour avoir une bonne fossilisation (milieu continental) ne se réalisent que très rarement et aussi à la fragilité des organes végétaux; tous ces empêchements ont freiné l'évolution des études paléobotaniques.

D'habitude seules les parties très résistantes des plantes, généralement constituées par des tissus cellulosiques externes (cuto-cellulosiques), quelques tiges ligneuses, certains thalles (l'appareil végétatif des végétaux autres que les Bryophytes, Ptéridophytes et Spermophytes) d'algues calcaires ou siliceuses, quelques résines (ambre) et les carapaces de certaines diatomées, peuvent résister à la destruction.

Dans les organes à tissus cuto-cellulosiques on trouve les feuilles, les spores et les grains de pollen des plantes ainsi que les graines, les fruits, etc... Les feuilles sont étudiées généralement sur les impressions laissées par elles-mêmes dans des sédiments qui les contiennent ou bien en transférant les cuticules supérieures ou inférieures des feuilles sur des plaques transparentes en plastique (101 a), néanmoins, les conditions de fossilisation sont si complexes qu'il est difficile de recueillir des impressions susceptibles d'être valablement étudiées dans la plus grande partie des sections géologiques. Par contre, les spores et les grains de pollen, grâce à leurs propriétés de dissémination, leur grande résistance et leur grande abondance, ont ouvert le champ d'action à la Paléobotanique dans le domaine des sciences appliquées depuis quelques années. C'est ainsi qu'une nouvelle science, la Palynologie, vient à l'appui de la Paléobotanique appliquée.

II .- LA PALYNOLOGIE

Le mot "Palynologie" fut créé par HYDE et WILLIAMS en 1944 (12) pour rassembler tous les travaux rapportés avec le pollen et les spores; ce mot à une origine grecque et signifie "étude des poussières".

La Palynologie peut être définie comme une science très récente qui étudie les spores et les grains de pollen, pas seulement les actuels ou provenant des sédiments récents mais aussi ceux des sédiments appartenant aux époques géologiques plus anciennes, quelque soit leur nature.

A ses débuts cette discipline était purement descriptive, c'est-à-dire qu'elle étudiait et décrivait systématiquement les derniers éléments reproduc-

teurs des végétaux, soit actuels ou fossiles. Actuellement l'étude des spores et du pollen fossile est devenue une science appliquée.

Quoique, en théorie, la Palynologie doit étudier exclusivement les spores et le pollen, certains auteurs voudraient étendre son domaine d'investigation à d'autres "microfossiles organiques" (algues microscopiques, hystrichosphères, dinoflagellés, péridinés, chitinozoaires, etc... pour lesquels on utilise des méthodes de recherche identiques ou similaires aux méthodes palynologiques. SCOTT créa le terme "Palynomorphe" pour grouper tous ces organismes, DEFLANDRE propose celui de "Paléomicroplanctontes" (76).

III .- HISTORIQUE

Quoique moderne, la science appelée par HYDE et WILLIAMS "palynologie" a réellement pris naissance à la fin du XVII^e siècle (1696), quand les botanistes Néhémie GREW et Marcello MALPIGHI (12') observèrent et décrivirent pour la première fois des "grains de poussière" provenant de quelques plantes et supposèrent leur pouvoir fécondant. Il faut cependant arriver au début du XIX^e siècle pour avoir des idées plus claires (grâce à l'usage du microscope) sur ces "grains de poussière", avec la découverte d'AMINCI (147) en 1822, de la germination des "grains" sur le stigmate.

Les premières observations des spores et grains de pollen furent faites en utilisant des espèces de plantes actuelles et c'est pour cette raison que dès ses origines, cette discipline a été incluse dans la Botanique Systématique.

Au début du XIX^e siècle, BAUER (258 a) effectua les schémas de plus de 170 espèces de grains de pollen. En 1830, PURKINJE (258 a) avait déjà caractérisé les spores et les grains de pollen des principales familles végétales. Von MOHL (258 a), en 1834, mit en évidence la première classification de ces éléments reproducteurs.

Les premières spores fossiles furent observées en étudiant les constituants du charbon par la technique des lames minces, ainsi, ces éléments étaient étudiés en deux dimensions et c'est pour cela que fut posé le problème d'isoler les spores et les grains de pollen de la gangue qui les contient. Déjà GOPPERT (128), en 1836, avait essayé de les isoler du charbon en faisant la combustion partielle de cette roche, dont il examinait les cendres. Un peu plus tard, SCHMIDT et SCHLEIDEN effectuèrent la première macération du charbon, employant de la soude caustique. Mais c'est dans le courant de l'année 1855, quand SCHULZE publia sa fameuse méthode de macération (56), que fut créée la véritable technique. Il est très curieux de souligner qu'à cette époque, la méthode de Schulze ne fut pas destinée aux investigations paléobotaniques mais plutôt aux recherches pétrographiques. Le processus de Schulze fut immédiatement appliqué à l'extraction des spores et du pollen contenus dans le charbon avec une très grande réussite et même jusqu'à nos jours elle est l'une des techniques de macération les plus employées. Ce pas dans l'histoire de la Palynologie fossile permit le grand progrès de cette science, car il ouvrit des horizons nouveaux dans l'étude de ces éléments. C'est ainsi qu'en 1867, SCHENK (180) décrivit les premières spores de fougères d'âge liasique. BLYTT en 1876 (119 a) fut le pionnier des investigations stratigraphiques en faisant même des conclusions paléoclimatologiques. GUMBEL en 1883, fut l'un des premiers chercheurs qui utilisèrent de façon systématique la technique créée par Schulze dont il montra l'utilité en y apportant quelques modifications.

En 1884, REINSCH (281) fait remarquer l'intérêt d'utiliser les caractères morphologiques des spores et des grains de pollen comme base de leur classification et il appelle "Triletes" les spores à marque de déhiscence sous forme

"triradiée". A partir de ce moment l'étude morphologique de ces éléments se fit plus intensive et c'est ainsi qu'un an après les travaux de FRUH (109 a), géologue Suisse, marquèrent le commencement d'une époque de grandes découvertes dans le domaine de la structure de la paroi, sculpture et morphologie des spores et des grains de pollen. Sous l'influence des palynologistes nordiques intéressés par l'investigation des espèces actuelles et quaternaires, ces recherches sont arrivées actuellement à avoir des résultats d'une extraordinaire précision. Mais dès 1886 après les travaux de DAWSON, ainsi que ceux de BENNIE et KIDSTON (321), il n'y reste pas de doute sur l'existence de spores dans le charbon.

En 1888, débute l'application de la Palynologie dans les domaines géologiques, quand le zoologiste suédois TRIBOM (109 a) souligne l'intérêt des spores et du pollen comme fossiles (caractéristiques). C.E. BERTRAND (255) un an après inaugure la méthode analytique du pollen.

H. Potonié (281) en 1883, introduit le nom "Sporites" pour appeler les spores. En 1897, l'archéologue danois SARAUW (109 a) donne une description d'une tourbe post-glaciale sous-marine extraite près de Copenhague, en présentant le comptage des grains de pollen, mais sans donner les pourcentages.

Pendant le siècle actuel, le développement de la Palynologie s'est fait très rapidement, dû sans doute, à la grande évolution des moyens d'étude et principalement à l'application dans d'autres sciences des connaissances acquises sur les spores et le pollen. En France, en 1900, ZEILLER dans son oeuvre "Eléments de Paléobotanique" fait mention de la méthode de GUMBEL pour l'extraction des spores et des grains de pollen. Peu de temps après LAGERHEIM (109 a) l'un des plus célèbres micropaléontologistes suédois, publia toute une série de travaux qui, ainsi que le souligne ERDTMAN (119 a), ont fait de lui "le père de l'analyse moderne du pollen". NATHORST, en 1908 (180), fait l'étude analytique des spores et du pollen trouvés dans une argile, en appliquant la Palynologie, pour la première fois, à l'étude des roches autres que le charbon. En 1909, Von POST (109 a) utilise les méthodes analytiques du pollen pour la première fois dans l'étude du climat et en 1916, lorsqu'il présente les premières analyses quantitatives de pollen, ce botaniste suédois amène la science des spores et du pollen, toujours d'après ERDTMAN, à prendre ses "lettres de noblesse" et acquiert la valeur de science "à part entière". En 1918, HOLST (109 a) montre l'évolution de la microflore de la tourbe. Le premier emploi des spores comme un moyen de caractériser et corrélationner les couches de charbon fut fait par THIESSEN (132) en 1922 aux U. S. A., suivi par SLATES (132) en 1930 en Grande-Bretagne.

En 1926, SAHABI (42 b) étudie pour la première fois les macro- et microspores françaises extraites de charbons du Nord de la France. C'est néanmoins, vers 1930 que les techniques de macération commencent à s'imposer d'une façon définitive et il faut citer ici les importants travaux de THOMAS en 1929, qui fut l'un des premiers palynologistes qui cherchèrent les résultats quantitatifs. ZERNDI en 1930 étudie pour la première fois les macrospores paléozoïques provenant de charbons polonais; dans la même année SLATES et EDDY (132) en Angleterre, étudient aussi les spores à grandes dimensions, pendant que WEBER, géologue-stratigraphe allemand, en 1931 (109 a), introduit la notion actuelle de l'analyse quantitative et établit les premiers graphiques de pourcentage. R. POTONIE pendant la même année classifie les spores et les grains de pollen en deux genres d'organe "Sporites" et Pollenites" et en 1932 THIESSEN et SPRUNT (42 b) contribuent encore la description de ces éléments à partir des lames minces.

Mais toujours afin d'isoler les spores et le pollen, une seconde technique

fut mise au point et amena un rapide développement des investigations palynologiques. En effet, ZELZSCHE et KALIN, en 1932, (119 a) décrivent une méthode qui permet d'isoler les éléments très fragiles ou de grande taille qui sont détruits par la méthode de SCHULZE. C'est à partir de cette date que les palynologistes eurent à leur disposition les procédés de base de leurs investigations, puisqu'à cette époque on pouvait déjà, en utilisant d'autres méthodes chimiques, extraire les grains de pollen et les spores de roches aussi différentes que les argiles, les évaporites, etc... Aussi, à partir de ce moment les publications et les études se multiplièrent rapidement. En Angleterre REINSIRICK en 1934 essaya d'isoler les spores en employant la pyridine et au même temps LUBER en U.R.S.S. (281) applique la corrélation palynologique en couches de charbon.

De 1932 à 1934 apparaissent les études de POTONIE, IBRAHIM, LOOSE et WHECHER sur les macro- et microspores du bassin de la Ruhr en Allemagne. En 1935, LANG, en Ecosse (132), applique l'une des premières classifications du type moderne des spores fossiles. Et ce n'est que récemment, en 1944, que HYDE et WILLIAMS (8) donnent un nom à la science des spores et du pollen. En 1946, DIJKSTRA étudie les macrospores du Brésil de l'Egypte et de la Russie. En 1947 ERDTMAN propose la première classification des grains de pollen d'âge tertiaire.

Tous les auteurs cités ont créé les bases et donné une grande impulsion à la palynologie, en ouvrant les portes de son application. De cette manière, depuis 1947, le nombre de palynologistes et personnes qui trouvent dans la Palynologie un moyen pour le développement de leurs spécialités s'est accru considérablement; ainsi on a une bibliographie palynologique très complète et très abondante.

IV .- GENERALITES

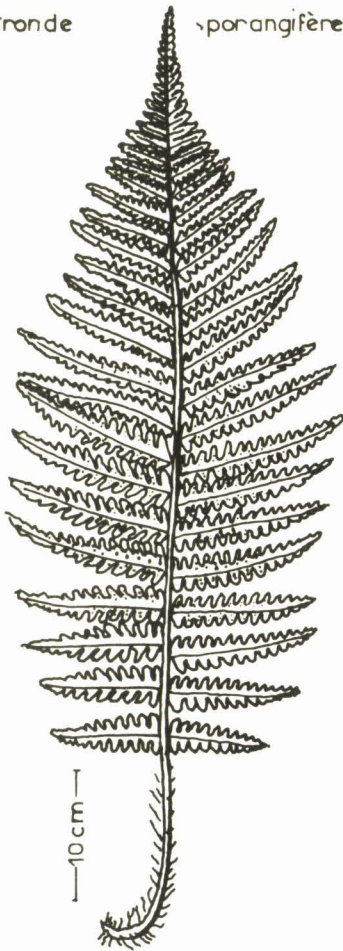
Dans la littérature palynologique on emploie généralement les termes "Pollen" et "Spores" comme synonymes et encore, quelquefois, ces termes sont employés individuellement pour exprimer l'ensemble de ces éléments reproducteurs. Néanmoins, la différence entre les grains de pollen et les spores est marquée, même si parfois elle est douteuse et en certaines occasions impossible à faire. Pour cette raison le terme "Sporomorphe" créé par ERDTMAN en 1947, a pour but d'indiquer les éléments reproducteurs, spores ou grains de pollen dont il n'est pas possible de préciser la nature exacte : quelques auteurs ont proposé les termes "Polospore" et "Pollenospore" pour indiquer à la fois le pollen et les spores (12).

D'une manière générale, l'identification générique des spores et des grains de pollen est très possible mais une identification plus spécifique avec un degré de certitude plus grand est plus difficile à faire; pourtant il faut identifier ces éléments reproducteurs si l'on veut accomplir l'une des conditions de base de la Palynologie. L'identification des spores et des grains de pollen est nécessaire car le nombre de producteurs de ces éléments est très grand et, les identifier représente encore la seule manière d'obtenir des conclusions avec un haut degré de véracité. Pour bien identifier les spores et les grains de pollen, et pour les utiliser d'une façon pratique et efficace, il est nécessaire de bien connaître les caractéristiques essentielles de ces éléments reproducteurs des végétaux.

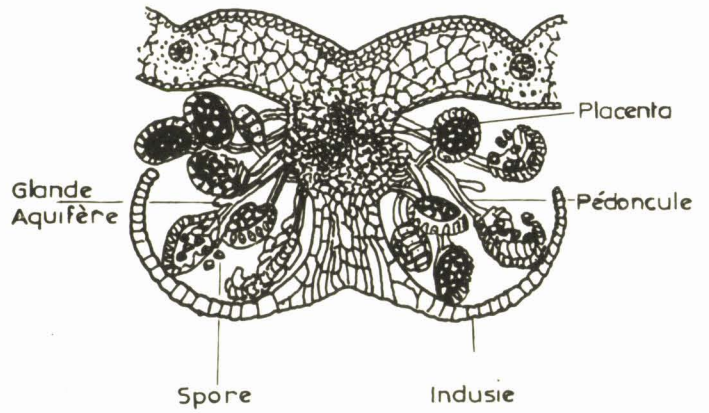
Pour bien expliquer les caractéristiques des spores et des grains de pollen il faut employer des termes spéciaux; malheureusement, la terminologie n'est pas très générale et elle n'a pas été l'objet d'une codification stricte,

REPRODUCTION DES PTERIDOPHYTES (Dryopteris Filix-mas SCHOTT)

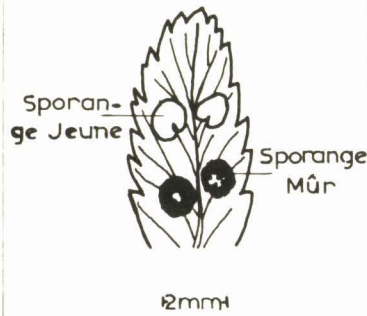
A- Fronde



B-Coupe transversale d'une pinnule
1-0.5mm



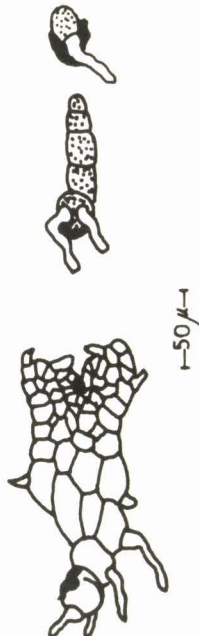
C- Une pinnule



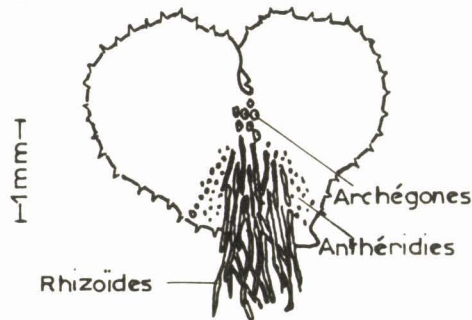
D- Une spore



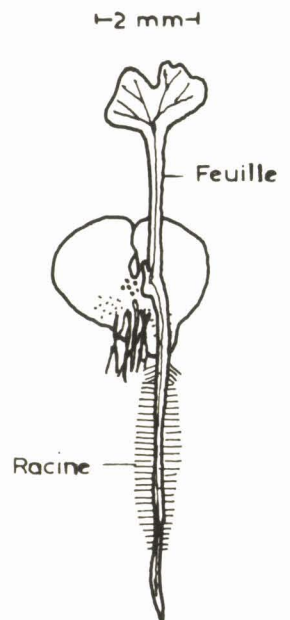
E- Stades de développement du prothalle



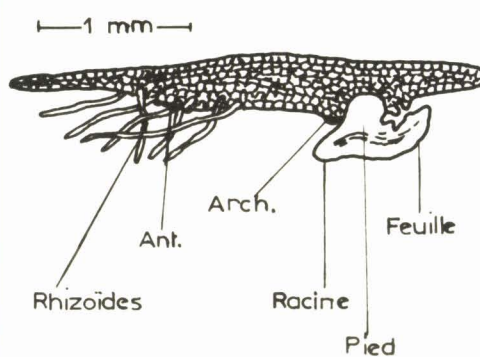
F- Prothalle définitif



H- Le prothalle et la plantule



G- Coupe longitudinale d'un prothalle



c'est pour cela que les termes varient selon les auteurs; en ce qui me concerne, je me bornerai à employer une terminologie aussi simple que possible, ainsi que la plus connue, afin de ne pas fatiguer le lecteur avec des termes très recherchés. Pour la description des termes exclusivement botaniques, je suivrai la terminologie employée par GUINOCHE (147).

A.- LES SPORES

1- Définition *

Les spores sont des éléments reproducteurs des plantes classées dans les divisions botaniques suivantes : Phycophytes, Micophytes, Bryophytes et Ptéridophytes (d'après le tableau synoptique de la classification du règne végétal pris par GUINOCHE de M. CHADEFAUD et L. EMBERGER, 1960), c'est-à-dire, plantes aussi variées que les algues, les champignons, les fougères etc... Néanmoins, du point de vue de la Palynologie, la plus grande source des spores appartient aux Ptéridophytes, au sens dans lequel l'emploient les botanistes actuels, c'est-à-dire, qu'elles comprennent non seulement les Filicinées, mais également les Lycopodiées, les Articulées et même les Psilophytinées.

Il est nécessaire de tenir compte que, du point de vue strictement biologique (147), le terme spore doit être réservé au produit immédiat d'une méiose; les autres "spores" qui sont le produit d'une ou plusieurs mitoses ordinaires n'ont qu'une valeur de simples propagules unicellulaires (on appelle propagules tous les fragments de plantes, quelque soient leurs dimensions et leur complexité d'organisation, susceptibles de redonner un individu, c'est-à-dire, d'assurer la multiplication végétative).

2- L'origine des spores

Pour étudier l'origine des spores, il faut connaître certains caractères généraux que je définirai en prenant pour exemple l'espèce Dryopteris filix-mas (L.) SCHOTT qui est d'ailleurs celle décrite par GUINOCHE dans son étude de la reproduction des Ptéridophytes.

Sur un pied de cette espèce actuelle, on peut voir que certaines frondes appelées sporophylles portent sur leur face interne de petites tâches brunes, qui, à la loupe, montrent l'organisation suivante (fig. 5 A) : une protubérance de la feuille, le placenta, attachée à une des nervures secondaires de la pinnule, porte les sporangies (organes qui forment et contiennent les spores) formés par un mince pédoncule aboutissant à une tête lenticulaire qui se prolonge à son centre par une petite colonne s'étendant latéralement pour former une mince membrane, l'indusie qui couvre l'ensemble des sporangies. Cet ensemble a été appelé sore (quand les sporangies sont libres leur ensemble s'appelle sore, s'ils sont unis on parle de synange).

Le sporangie naît d'une cellule superficielle du placenta, cellule qui se divise en deux, l'une inférieure qui est à l'origine du pédoncule et l'autre supérieure qui, par la suite, donnera naissance à la paroi du sporangie, au tapis et à une douzaine de cellule mères des spores. Ce sont ces cellules mères qui subissent individuellement une méiose (deux mitoses successives qui s'accompagnent

* Le terme "spore" tire son origine du mot grec spore qui signifie semence, graine, grain, pépin et il a été créé par P.A. MICHELI en 1729 (264).

d'une seule division des chromosomes) et finissent par donner des tétrades de spores.

La paroi du sporange possède (le plus souvent) un arc de cellules très grosses qui représente ce qu'on appelle l'anneau ou assise mécanique lequel part du pédoncule, s'étend jusqu'à une certaine distance et se continue après une rangée de cellules à parois minces lesquelles forment le stomium. Cet anneau est actionné par des mouvements hygroscopiques qui provoquent la rupture du stomium et par conséquent, la déhiscence du sporange et finalement l'expulsion des spores, (fig. 5, B).

Lorsque les conditions sont favorables à la germination des spores, leur contenu se divise et leur paroi se rompt, en laissant sortir une cellule chlorophyllienne et du côté opposé, une autre incolore qui représente un rhizoïde; la première après son développement donne naissance à une lame appelée le coussinet. Cet organisme qui naît d'une spore prend le nom de prothalle. Durant son développement, le prothalle se différencie, d'abord en sa partie inférieure, où apparaissent les rhizoïdes et les anthéridies, après, au niveau du coussinet, les archégonés, (fig. 5 C-D-E-F-G).

Une anthéridie naît à partir d'une cellule superficielle; une série de divisions de celle-ci donne naissance à 32 anthérozoïdes, ceux-ci sont hélicoïdaux et portent un groupe de flagelles sur l'une de leurs extrémités.

Les archégonés sont aussi formés à partir d'une cellule superficielle, laquelle se divise transversalement, la cellule inférieure deviendra la paroi du ventre de l'archégoné et celle supérieure se divisera encore en deux cellules qui en se multipliant, donneront naissance au col et aux cellules du canal du col et du ventre, ainsi qu'à l'oosphère.

Après la rupture de la paroi des anthéridies, les anthérozoïdes déjà mûrs, nagent en liberté grâce au mouvement de leur flagelles, dans une pellicule d'eau qui recouvre le prothalle, en direction des archégonés. L'un des anthérozoïdes, entrant par le col d'un archégoné, va se fusionner avec l'oosphère, donnant un zygote qui sera à l'origine d'une nouvelle plante à feuilles. Cette plante naissant à partir du zygote est un sporophyte tandis que le prothalle est un gametophyte, étant l'anthérozoïde et l'oosphère les gamètes masculins et féminins respectivement; ainsi, une spore est un élément asexué, lequel devient sexué seulement avec la naissance du prothalle, (fig. 5, H).

Dans le cas des Ptéridophytes la cellule mère qui donne origine aux spores s'appelle sporocyte. Les sporanges sont très variés d'une espèce à l'autre, selon les dimensions et la position de l'anneau. C'est ainsi, par exemple, que chez les Hydroptéridées, l'anneau n'existe pas ou bien il est très rudimentaire. D'après le degré de développement de l'anneau mécanique sur les sporanges des Filicinées, ces plantes peuvent être divisées en Eusporangiales (sans anneau), Protoleptosporangiales (anneau peu développé) et Leptosporangiales (anneau bien développé).

En ce qui concerne les champignons (*) ce sont des organismes unicellulaires mais la plupart sont des pluricellulaires. La partie active d'un champignon (132) consiste en un nombre varié de filaments appelés hyphes, et leur ensemble s'appelle mycellium. Dans certains cas, le mycellium forme une masse d'aspect compact (chez les champignons proprement dits et dans le cas des champignons en forme de parapluie), tandis que, dans les autres cas, il est constitué par une

(*) Je parle dans ce chapitre de la partie active des champignons parce que j'aurai besoin dans la partie pétrographique de cette thèse de revenir sur ces spécimens.

masse fibreuse; quand les fibres ont la forme de cordes, les hyphes sont appelés rhizomorphes tandis que lorsque la masse a la forme de tubercules ceux-ci s'appellent sclérotés et même, si la masse est compact, ils sont appelés stromas.

La reproduction des champignons s'effectue soit par la croissance des mycelium déjà existants ou bien avec des spores qui peuvent avoir de 2 à 100 microns de diamètre.

3- Plantes isosporées et hétérosporées

D'après PIERART (248), les plantes qui se reproduisent par spores peuvent être divisées, d'après le type de ces éléments, de la façon suivante :

Plantes à spores	Isosporées	Isosporie	4 spores bisexuées dans la tétrade		
	Hétérosporées	Hétérosporie	Génotypique	Physiologique	2 spores mâles et 2 spores femelles dans la tétrade
			Phénotypique	Biométrique	
			Biométrique	Morphologique	Hétérosporangie : Macro- et Microsporangies différents

Les plantes isosporées produisent un seul type de spores dans la tétrade, les hétérosporées en fournissent plusieurs types et peuvent se subdiviser selon leur type d'hétérosporie.

J'ai déjà dit que les spores sont des éléments asexués, biologiquement parlant, car la sexualité naît avec la formation du prothalle. Néanmoins, pour faciliter l'application des cas d'isospore et d'hétérosporie, il faut parler des spores mâles, spores femelles et même des spores bisexuées. Les spores mâles donnent naissance à un prothalle qui produit uniquement des gamètes mâles (anthérozoïdes); tandis que chez les spores femelles le prothalle produit uniquement des gamètes femelles (oosphères); enfin, les spores bisexuées donnent naissance à un prothalle qui présente les deux types des gamètes

Chez les plantes hétérosporées, l'hétérosporie est génotypique lorsque la différenciation des spores se fait au sein de la tétrade et est dite phénotypique quand la différenciation des spores se fait dans des sporanges différents bien spécialisés (macro- ou microsporange).

a.- hétérosporie génotypique

L'hétérosporie génotypique peut être physiologique ou biométrique. Elle est appelée physiologique lorsque les quatre spores de la tétrade sont morphologiquement égales, mais deux spores donnent origine à deux gamétophytes mâles et les deux autres donnent deux gamétophytes femelles. C'est ce type d'hétérosporie que l'on trouve chez quelques Algues, les Champignons Hétérothalliques, les Bryophytes et les Equisetacées.

On appelle biométrique l'hétérosporie chez laquelle les spores sont divisées d'une manière très nette en deux grandes (femelles) et deux petites (mâles), même si morphologiquement elles sont identiques; cette sorte d'hétérosporie se trouve chez quelques Lycopodiacées fossiles, certaines Articulées fossiles et même chez certaines Fougères primitives ou même actuelles. DIJKSTRA (1949) décrit un exem-

ple d'hétérosporie génotypique biométrique très spécial chez le genre Cystosporites du Carbonifère, où une spore de la tétrade est fertile et a une forme de sac allongé à exine mince, tandis que les trois autres (qui ont avorté) restent très petites et ont une exine épaisse. Un autre cas très typique se rencontre chez l'espèce Macromitrium salakanium C. MULL (248) : c'est une mousse qui produit des mégaspores d'un diamètre deux fois plus grand que celui des microspores. Ces deux sortes de spores se reconnaissent au microscope par le fait que les macrospores sont vertes et donnent un gamétophyte femelle plus grand que le gamétophyte mâle produit par les microspores de couleur jaune.

b.- hétérosporie phénotypique

L'hétérosporie phénotypique peut être morphologique ou biométrique. La première est caractérisée par le fait que les spores mâles et femelles ont une forme et une sculpture différentes, car les unes et les autres se forment dans des sporanges différents.

Dans la seconde, les spores sont morphologiquement identiques mais de tailles différentes. DIJKSTRA fait aussi mention du cas du mégasporange des Selaginelles actuelles (d'après MITCHELL 1910) qui contient quatre spores dont la distribution peut varier selon les espèces :

- 1 - on trouve une inégalité de taille des quatre spores.
- 2 - deux spores grandes et deux petites.
- 3 - une spore grande et trois petites.
- 4 - trois spores grandes et une petite.

De même les spores des Lycopodes se développent dans les cônes bisexués constitués par une superposition de petites feuilles (sporophylles) autour d'un axe; et ont les sporanges sur leur face supérieure. A la partie supérieure des cônes se trouvent les microsporangies qui contiennent les microspores et à sa partie inférieure les macrosporangies en contenant les macrospores.

4- La taille des spores

Dans les études palynologiques des sédiments, les spores mâles et femelles sont généralement différenciées d'après leur taille. Les spores femelles sont d'habitude plus grandes que les mâles et c'est pour cela qu'on les a nommées macro- ou mégaspores tandis qu'on appelait microspores les éléments mâles. La taille limitée entre méga- et microspore a été arbitrairement fixée à 200 microns.

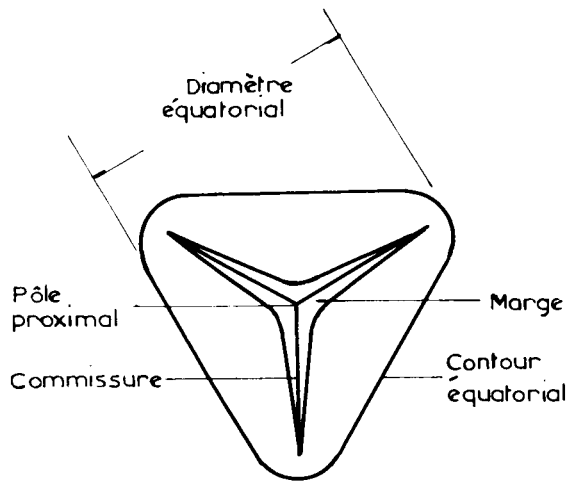
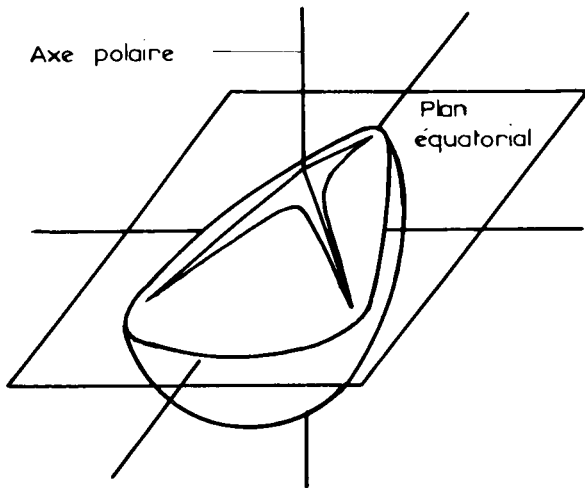
Cette division des spores est totalement arbitraire et de ce fait on trouve dans les microspores non pas uniquement les spores mâles des plantes hétérosporées, mais aussi des isospores (petites mégaspores) et même, selon certains auteurs, des grains de pollen et prépollen.

Pourtant, il faut expliquer ici, que les microspores et les grains de pollen ne sont pas identiques, strictement parlant, car bien que ces termes désignent tous deux des éléments reproducteurs mâles de plantes, une microspore est le produit de la division de la cellule mère avec un gamète mâle apparaissant après la naissance du prothalle, tandis que le grain de pollen contient dans son corps le dit gamète mâle. D'autre part, la mégaspore engendre rapidement un prothalle qui produit un gamète femelle qui reste généralement à l'intérieur de la paroi de la spore.

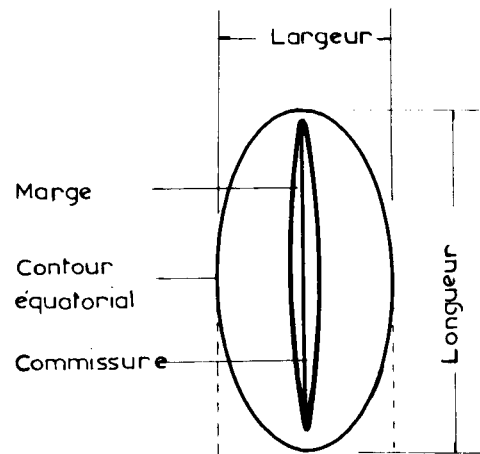
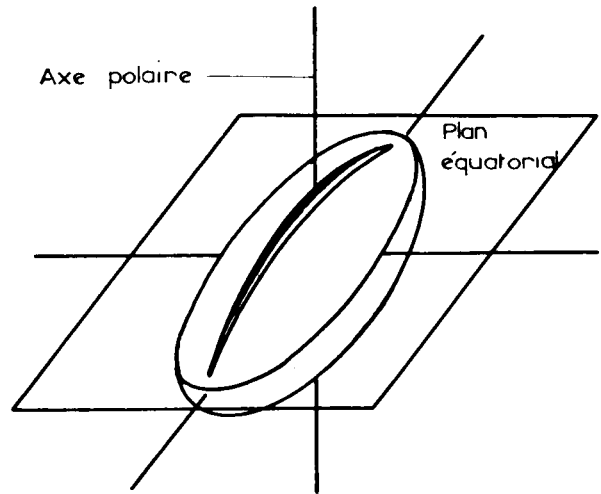
Or, la division des spores par leur taille, n'est pas naturelle et évidemment elle amène à des erreurs, quoique pratiquement elle soit convenable car

SPORES TRILETES ET MONOLETES

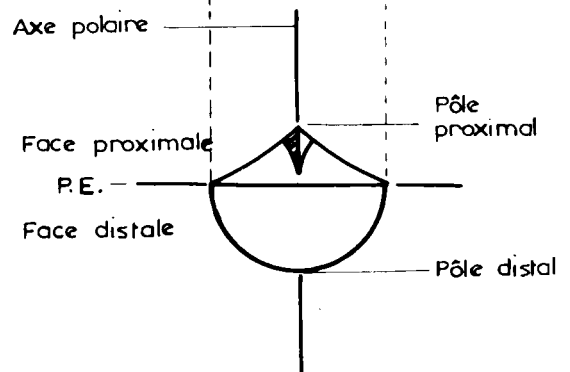
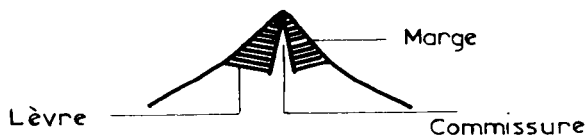
A - TYPE RADIAL



B - TYPE BILATERAL



C - LAESURA



d'habitude la plupart des mégaspores surpassent les 200 microns de la limite et aussi la plupart des spores mâles et les isospores n'ont pas les 100 microns. Une conséquence de cette division est l'adoption de différentes méthodes d'études pour chacun des deux groupes, ainsi que la spécialisation du chercheur dans les domaines des mega- ou microspores.

La gamme des tailles de spores est très grande, variant de quelques microns à plusieurs millimètres. Mais malheureusement, cette variation de taille se rencontre même chez les individus d'une même espèce, tant dans les plantes hétérosporées que chez les isosporées, ce qui, du point de vue de la classification de ces éléments reproducteurs crée évidemment des problèmes. REMY (109) montra que chez le genre Sphenophyllum les spores varient d'une façon notable à l'intérieur d'une même espèce : c'est ainsi que, chez Sphenophyllum hauchecorni, qui est une espèce indiscutablement isosporée, le diamètre varie pour un même individu de l'espèce, de 50 à 150 microns. NAUMOVA 1953, (109), constate que, chez certaines spores dévoniennes de l'U.R.S.S., les variations de diamètre sont en relation avec l'évolution d'une espèce donnée, c'est-à-dire que l'espèce présente des spores à dimensions plus petites au commencement et à la fin de son existence et à dimensions plus grandes au milieu, soit au moment de sa propagation la plus grande.

D'ailleurs, il existe beaucoup d'exemples contradictoires qui nous montrent la diversité de la taille des spores; PANT, 1954, (85), fait mention de macrospores de 160 microns et même de 90 microns, ainsi que des microspores de 500 microns, biologiquement parlant. C'est ainsi pour éviter ce type de confusions que DOYLE, 1953, propose les termes androspores pour les microspores et gynospores pour les mégaspores, même si beaucoup de palynologistes préfèrent employer le terme miospore pour toutes les spores fossiles de moins de 200 microns de diamètre; ce terme introduit par GUENNEL en 1952, rassemble en fait tous les spores fossiles et sporomorphes de moins de 0,2 mm, ainsi que les homosporées, les microspores, les mégaspores de petite taille, les grains de pollen et le prépollen (171).

5- La forme des spores

D'après la disposition des spores dans la tétrade, on rencontre deux type : - type radial, les spores ont l'aspect de tétraèdres et se trouvent placées autour d'un point.

- type bilatéral, les spores ont des formes allongées, dues à ce qu'elles se trouvent placées autour d'un axe commun ou de deux axes perpendiculaires, dans ce dernier cas chacun des deux axes est commun à une paire de spores.

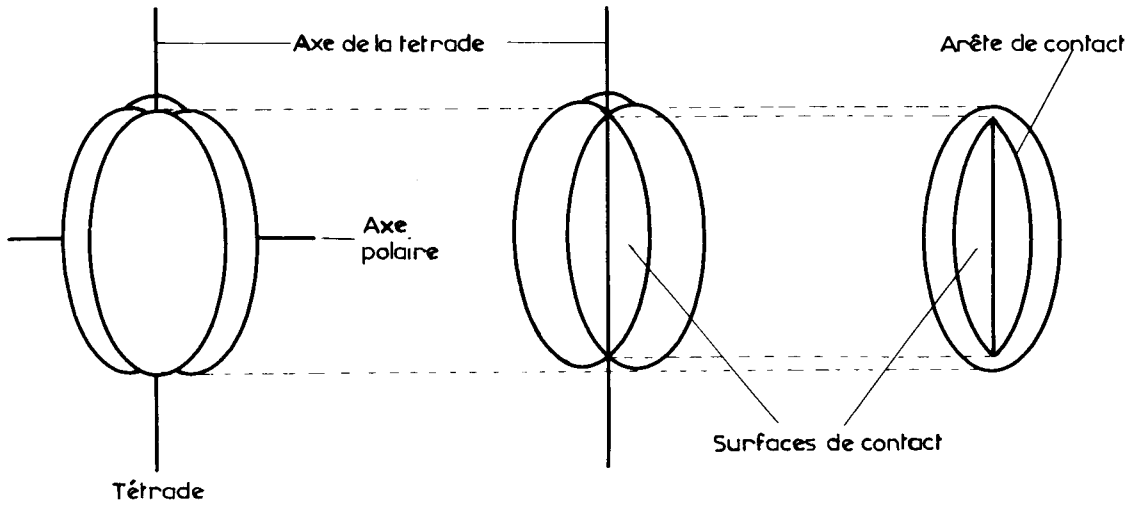
Chez les spores du type radial chaque spore est en contact avec les spores voisines par trois de ses faces, la quatrième du tétraèdre reste libre et elle est convexe (fig. 6, A et B).

Chez les spores du type bilatéral il existe deux cas : soit celui où les quatre spores de la tétrade se trouvent autour d'un axe et chaque spore a alors deux faces en contact avec celles des spores voisines (fig. 7, A), soit celui où l'on trouve deux axes perpendiculaires dans la tétrade et dans ce cas chaque spore est en contact avec les spores voisines par trois faces inégales : l'une longue est en contact avec la spore opposée par leur axe commun, les deux autres faces sont petites et en contact avec les autres deux spores de la tétrade qui sont en position perpendiculaire (fig. 7, B).

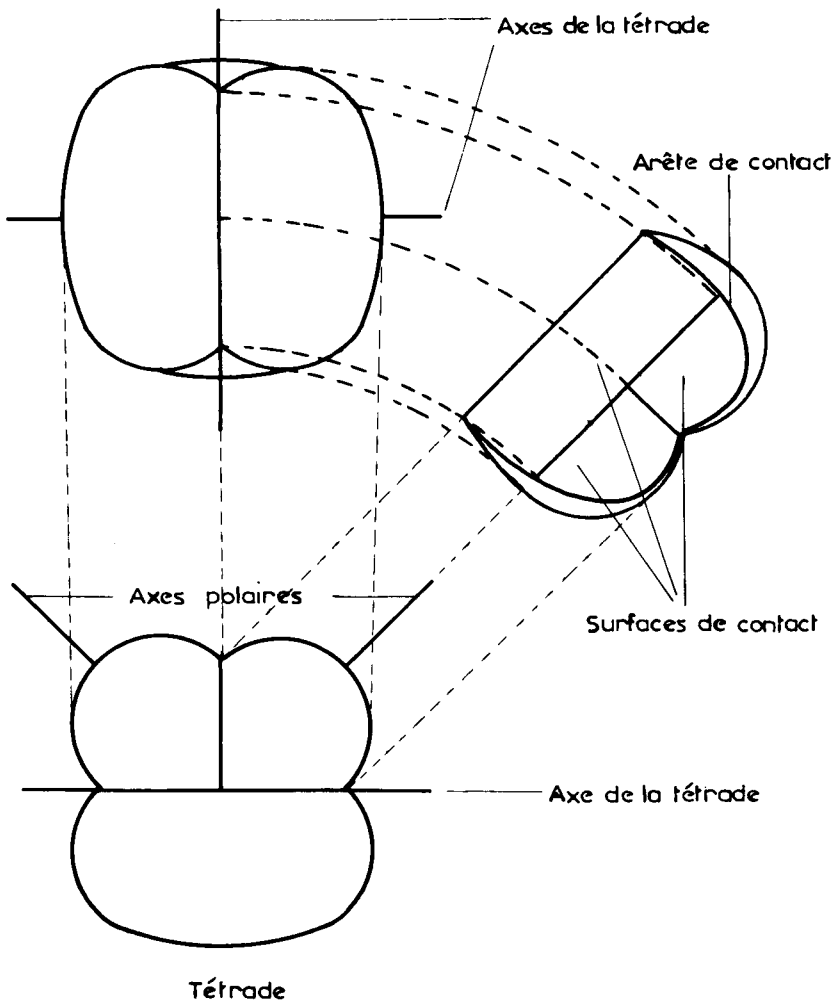
Quelque soit la disposition des spores dans les tétrades, chacune présente deux pôles : l'un appelé proximal correspond au centre de la tétrade et l'autre, opposé au premier, situé vers l'extérieur de celle-ci, est dit distal. La ligne imaginaire qui joint ces deux pôles a reçu le nom d'axe polaire et le profil dessiné par la spore sur le plan équatorial (perpendiculaire à l'axe polaire à peu près en son milieu) s'appelle le contour équatorial. Le plan équatorial sépare la

SPORES MONOLETES, DILETES, TETRALETES ET PENTALETES

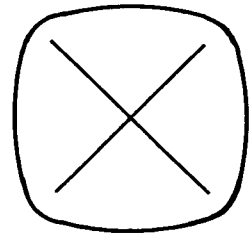
A - MONOLETES



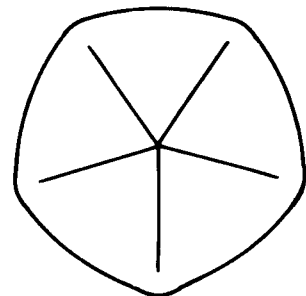
B - DILETES



C - TETRALETES



D - PENTALETES



spore en deux parties : l'une dite face proximale, dirigée vers le centre de la tétrade, contient le pôle proximal et l'autre, la face distale, est dirigée vers l'extérieur en contenant le pôle distal (fig. 6, A et B).

Le contour équatorial d'une spore peut présenter des formes différentes toujours en relation avec le type de celle-ci; une spore de type radial présentera généralement des formes triangulaires ou circulaires tandis qu'une spore du type bilatéral présentera des formes elliptiques.

Chez les spores fossiles, la partie interne de constitution cellulosique a disparu à la suite des processus de sédimentation; c'est ce qui fait que leur étude au microscope se fait en deux dimensions. Elles ont en effet été aplaties à cause du poids des sédiments supérieurs et elles ont pris des formes très diverses selon leur position au moment du dépôt; heureusement, l'aplatissement se fait le plus souvent en suivant le contour équatorial, bien que l'on puisse parfois trouver des formes très capricieuses.

Lors de la sédimentation, des spores identiques peuvent prendre des aspects très différents de même que des spores très différentes peuvent acquérir des aspects semblables; il faut tenir compte de ce fait afin de faire une bonne identification et classification des spores. Néanmoins, même si des erreurs de ce genre peuvent être commises, les spores d'une espèce botanique donnée présentent généralement des caractères morphologiques constants et uniformes, ce qui a permis de les grouper sur des bases de similitude morphologique; ainsi, les diverses espèces de plantes produisent des spores différentes les unes des autres, même s'il existe des exceptions qui nous montrent que des plantes d'espèces différentes présentent des spores de forme similaire de même qu'il existe aussi des individus de certaines espèces qui donnent des spores de forme différente (hétérosporie phénotypique morphologique).

Les formes les plus communément rencontrées chez les spores fossiles sont : circulaires; triangulaires à côtés concaves, convexes ou rectilignes et à arêtes rondes, pointues ou tronquées; ovales; elliptiques; polygonales; trapézoïdales; en forme de haricot, de poire, rénoïdes, etc...

Enfin, il faut souligner qu'on ne doit pas confondre la forme des spores avec leur contour équatorial. La forme peut être très variée pour la même spore, car elle est dépendante de sa position de dépôt et même de sa position en relation avec l'oeil de l'observateur, tandis que son contour équatorial, qui fait partie de sa nature même, est sensiblement constant.

6- La fissure germinale

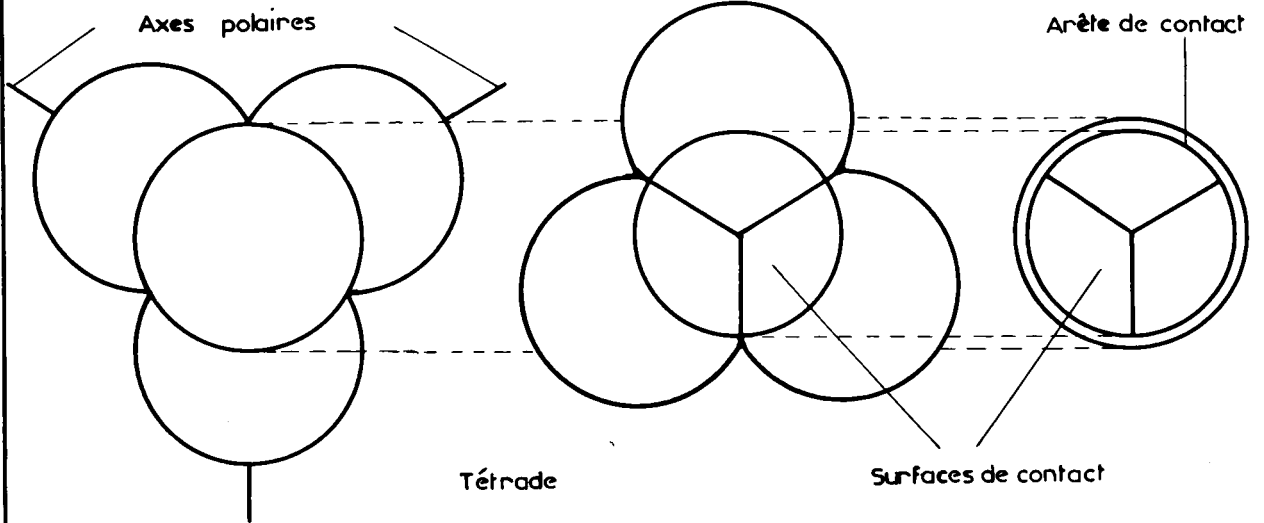
Toutes les spores à maturité ne forment pas des tétrades; quelques unes présentent isolées, en paires ou en groupes; ainsi, le nom de dyade signifie une paire de spores et polyade un ensemble de plus de quatre spores.

Les spores, qu'elles soient du type radial ou bilatéral, se trouvent unies dans une tétrade par leurs surfaces de contact qui se trouvent sur la face proximale de la spore. Sur les arêtes d'intersection des surfaces de contact, la paroi de la spore s'affaiblit et peut donner ou non naissance à un épaississement pour renforcer les lignes de moindre résistance; ainsi, quand une tétrade libère les quatre individus qui la forment, ceux-ci présentent sur leur face proximale une ou plusieurs lignes qui forment des cicatrices ou des bords. Dans le cas des spores du type radial, ces lignes partent d'un point placé au centre de la tétrade, c'est-à-dire du pôle proximal de la spore. Quand les spores sont du type bilatéral, il existe une longue ligne sur leur face proximale, ligne qui parcourt la spore longitudinalement et qui se présente toute seule dans le cas des 4 spores autour d'un axe; mais dans le cas de deux axes perpendiculaires, on trouve une autre petite ligne perpendiculaire à la première qui part du centre de celle-ci c'est-à-dire du pôle proximal, vers l'un des deux côtés (fig. 7, B).

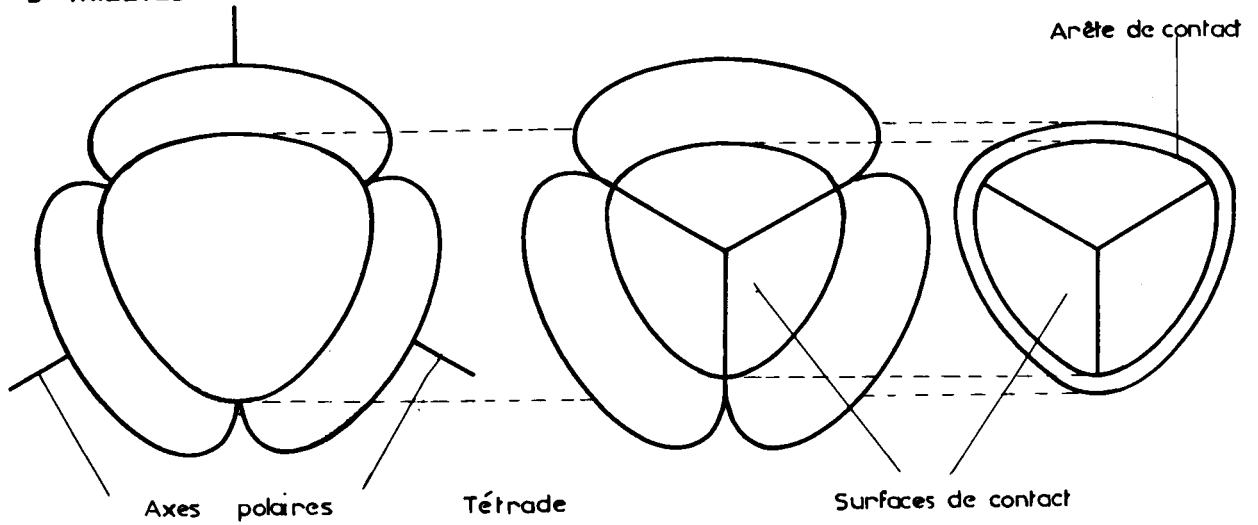
La cicatrice témoin de l'union des spores dans la tétrade est appelée mar-

SPORES TRILETES, CIRCULARETES ET ALETES

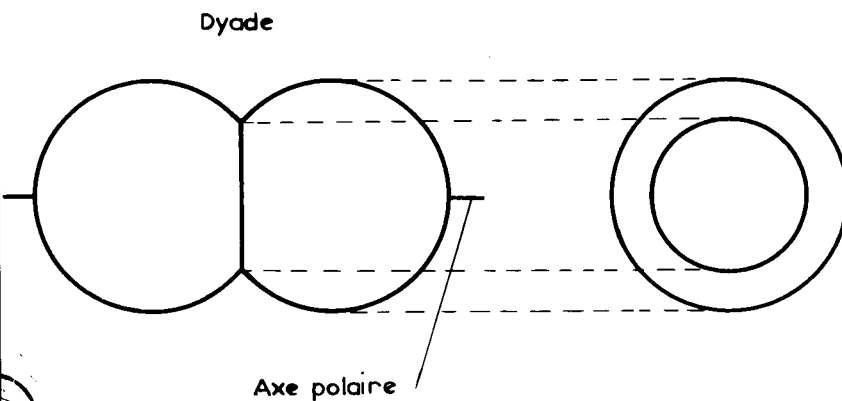
A - TRILETES



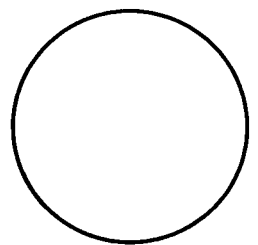
B - TRILETES



C - CIRCULARETES



D - ALETES



BUS
LIVRE

que d'accolement ou marque de contact; elle est formée par une ou plusieurs lignes nommées individuellement laesuras et comprend éventuellement d'autres éléments comme les lèvres, les commissures et la marque (margo).

D'après le nombre de lignes (laesuras) de la marque de contact, les spores peuvent être divisées en plusieurs groupes selon qu'elles appartiennent au type bilatéral ou radial.

Lorsque les spores du type bilatéral ont une marque de contact composée d'une seule arête rectiligne en position longitudinale, elles sont appelées (fig. 7, A) monolètes; lorsque la marque de contact est constituée par deux lignes, (une longitudinale grande et une autre perpendiculaire à la première sur le pôle proximal de la spore), elles sont appelées dilètes (fig. 7, B).

Les spores du type radial se divisent en trilètes, tétralètes, pentalètes.

Chez les spores trilètes la marque d'accolement a la forme d'un "Y"; les branches de celui-ci ont sensiblement la même taille et partent du pôle proximal de la spore (fig. 6 A; 8 A-B).

Les spores tétralètes (57) et pentalètes (216) possèdent des marques de contact respectivement à 4 et 5 laesuras et sont peut-être des formes tératologiques (cas des formes exceptionnelles) des spores trilètes (fig. 7, C-D).

Les mots "monolètes" et "trilètes" furent créés par G.E. ERDTMAN et proviennent de la contraction des mots monolaesurate et trilaesurate qui indiquent respectivement une laesura et trois laesuras.

Les spores, après la division de la cellule mère, peuvent s'individualiser rapidement, en grossissant seules, ce qui fait qu'à maturité ces spores ne présentent pas de marque de contact; ces spores (fig. 8, D) ont été nommées Alètes par IBRAHIM en 1933; dans ce même groupe, on trouve, peut-être quelques spores produites par mitose (spores de champignons, algues, etc...).

Dans les cas d'hétérosporie biométrique, les spores de la même taille peuvent grossir unies en paires, formant dyades; ces spores à maturité se détachent et présentent une marque de contact circulaire, en ces cas les dites spores sont appelées Circularètes (57). De telles spores peuvent aussi se former en cas d'avortement de deux spores de la tétrade. C'est ainsi qu'en 1963 DANZE et LAVEINE décrivent leur nouveau genre Circularésporites et ils expliquent, dans leur description générique, que les spores se trouvent fréquemment en dyades (95%); les membranes externes des deux spores sont unies par des fins tractus et quelquefois on trouve des formes "anormales", par exemple triades (trois spores) chez lesquelles une des spores est plus petite. On peut même trouver des tétrades constituées par deux grandes spores et deux petites (fig. 8, C).

Chez les spores la marque de contact sert de fissure germinale c'est-à-dire, qu'elle correspond à la partie de la spore par laquelle la matière cellulosique du corps central sort pour donner naissance au prothalle. Généralement l'épaisseur de la paroi de la spore est moindre sur la région des surfaces, ce qui occasionne une zone de moindre résistance plus facile à rompre. Néanmoins, chez les spores fossiles qui appartiennent à la subdivision des Operculatitriletes LAVEINE 1965, du genre Sphenophyllum, la fissure germinale des spores ne correspond pas avec la marque d'accolement car ces spores-ci ne la présentent pas; les spores de ce genre sont constituées par une membrane externe et un corps intérieur qui porte une marque trilète, sans doute à caractère exclusivement germinatif, placée sous une superficie operculaire de la membrane extérieure. L'opercule a aussi une fonction germinale et il atteint un tiers de la surface de la spore et ne possède pas de marque de contact qui puisse supposer une formation des tétrades.

L'apex a une signification abstraite et il se trouve sur le pôle proximal de la spore; c'est pour cette raison qu'on appelle aussi la face proximale de la spore face apicale. On nomme commissure la véritable ligne de déhiscence de la laesura. On appelle marque les surfaces qu'entourent les commissures et elles peuvent se différencier à cause d'une moindre épaisseur de la paroi de la spore ou bien par le manque de sculpture. Les lèvres sont les bords des commissures et elles sont généralement un peu élevées (fig. 6, C).

Chez les spores du type radial la marque de contact s'ouvre à l'apex par l'écartement du bord des commissures.

Dans certains cas des mégaspores, à l'emplacement de l'apex, se forment une

protubérance apicale produite par une extension des lèvres; les surfaces de contact sont limitées par les arêtes arquées qu'unissent deux des laesuras.

Chez les spores fossiles il est nécessaire de prêter une très grande attention à l'identification de la marque d'accolement, car elle est une des caractéristiques primordiales de classification et surtout il ne faut pas la confondre avec des plis ou avec l'ornementation de la paroi de la spore.

Spores	(Alètes)	Type BILATERAL
	(Monolètes		
	(Dilètes)	Type RADIAL
	(Trilètes		
	(Tétralètes		
	(Pentalètes		
(Circularètes			

7- La paroi des spores

Avant de traiter la partie correspondant à l'ornementation et aux formations équatoriales des spores, il faut expliquer certains caractères propres à leurs parois. Je traiterai aussi des grains de pollen, d'une façon très générale, car je réserverai les spécifications au chapitre consacré au pollen.

Comme nous verrons plus loin, on a nommé exine la membrane protectrice la plus externe des grains de pollen et la deuxième des spores, laquelle s'utilise comme matériel primordial d'observation dans les études palynologiques. Cette membrane est, sans doute, la base de la palynologie, à cause de sa grande résistance aux procédés physiques et chimiques auxquels on la soumet, tant dans la nature qu'au laboratoire.

a.- couleur

Si au microscope, l'exine des spores et grains de pollen actuels présente généralement un aspect presque transparent et sont incolores, les spores et les grains de pollen fossiles montrent des couleurs très diverses (allant du jaune pâle au brun foncé rougeâtre), qui varient en rapport avec l'épaisseur de la membrane et l'intensité de l'attaque chimique nécessitée pour leur extraction.

b.- composition chimique

ZETZSCHE, en 1931, examina les spores de Lycopodium clavatum et arriva à conclure que leurs exines avaient une composition généralement similaire à celle des cuticules d'Agave americana analysées par LEGG en 1929 (132). ZETZSCHE réussit à extraire la substance caractéristique des spores de Lycopodium en les faisant bouillir dans une solution alcaline très concentrée. Grâce à ce processus, la moitié de la cire fut dissoute, ainsi que 8% des substances acides et matières protéiniques. Au résidu il donna le nom de sporonine. Néanmoins celui-ci était encore contaminé par de petites proportions de cellulose qui dut encore être extraite avant d'obtenir la sporonine pure dont le poids n'était plus que le quart de celui des spores. La composition chimique obtenue par ZETZSCHE de la sporonine fut de 65% de carbone et 8% d'hydrogène, le reste étant constitué par de l'oxygène. D'après cet auteur la sporonine se trouvait donc, être une substance anitrogénée. à composition très semblable à celle des cuticules d'Agave ame-

ricana trouvée par LEGG (64,4% C et 9,3% H).

La sporonine est une substance non saturée à un haut degré; elle réagit très bien avec les éléments halogènes avec lesquels elle se sature et, une fois saturée, elle acquiert une très grande résistance à l'oxydation. C'est ce fait qui donna à ZEIZSCHE et KALIN la possibilité d'utiliser leur méthode pour isoler les spores et les grains de pollen du charbon, par l'intermédiaire d'une oxydation après bromuration.

ZEIZSCHE utilisa les spores de Lycopodium clavatum (119 a) pour ses études, parce que c'est une plante actuelle qui produit des spores en grande quantité, néanmoins, ZEIZSCHE et VICARI (132) examinèrent aussi le pollen de certains arbres (par exemple de Pinus silvestris parmi les Pinacées) et arrivèrent à la conclusion qu'il avait 22% de sporonine et 2% de cellulose. Des études postérieures ont montré que même les membranes des spores de champignons ont une composition semblable aux spores de Lycopodium et Pinus. Même si les exemples nommés nous montrent une moyenne de sporonine très similaire, son pourcentage peut descendre dans des cas extrêmes, jusqu'à 7% chez Corylus avellana L. (Betulacées).

Pour étendre le terme sporonine de ZEIZSCHE aux grains de pollen Frey WYSSLING appelle sporopollenine la substance qui constitue l'exine des spores et grains de pollen (12).

Des expériences faites sur le pollen actuel ont montré que la sporopollenine peut être dissoute dans la monoéthanolamine chaude ou bien en l'attaquant avec des agents oxydants aussi puissants que l'acide chromique. La sporopollenine résiste très bien à la chaleur car quelques grains peuvent supporter plus de 300° C sans se détériorer. Sa résistance chimique varie d'une plante à l'autre; c'est ainsi, les spores de Sphaqnum se corrodent facilement et disparaissent presque quand elles sont soumises à l'acétolyse, tandis que les spores de Lycopodium et de Selaginella et surtout les spores des champignons sont très résistantes, même plus que les grains de pollen de Pinus; cette résistance chimique est différente, aussi, pour chacune des couches que forment l'exine. En concluant on peut dire que la sporopollenine est un des produits végétaux les plus résistants dont la formule serait $C_{10} H_{29} O_{12} (O H)_{15}$.

c.- structure

Si nous coupons une spore transversalement, nous voyons qu'elle est constituée par un corps central et quatre couches concentriques qui forment le sporoderme.

Le corps central est constitué par la cellule vivante, qui disparaît rapidement si la germination ne se réalise pas. Chez les spores fossiles, on ne trouve qu'en de très rares occasions (234) ce corps central, et ceci le plus souvent dans le cas de spores (et de quelques grains de pollen) de grande taille qui ont subi une attaque chimique spéciale, en se trouvant à l'intérieur de l'exine en forme de couche rétrécie ou d'un petit morceau contracté.

Le sporoderme se divise en quatre couches qui sont de l'intérieur vers l'extérieur : l'endospore ou intine, la mésospore ou endexine, l'exospore ou ectexine et la périspore ou perine. Les noms endospore, mésospore, exospore et périspore sont employés généralement par les palynologistes spécialistes en mégaspores, les autres sont destinés aux microspores et aux grains de pollen.

L'endospore (ou intine) est la couche la plus intérieure du sporoderme. C'est une formation que l'on rencontre strictement chez les spores actuelles où elle apparaît comme une pellicule cellulosique fine. Elle ne se fossilise jamais,

même pas dans les cas exceptionnels, cités par MACKO, de conservation de restes du protoplasme du corps central.

La mésospore (ou endexine) et l'exospore (ou ectexine) sont deux couches de composition très semblable et qui, pour cette raison, restent toujours unies en formant une seule couche qui, dans le cas des microspores, s'appelle exine. La composition de cette couche a été déjà décrite et au microscope électronique elle montre une armature constituée par des macromolécules de corps terpéniques, hautement polymérisés.

La mésospore (ou endexine) est une pellicule fine et homogène et, en principe, complètement formée, elle se rompt uniquement à cause de l'action germinale de la spore.

L'exospore (ou ectexine) est la couche de l'exine qui porte la sculpture de la spore; elle n'est pas homogène et elle a une épaisseur habituellement plus grande que la précédente.

La périspore (ou périne), lorsqu'elle existe, apparaît comme une enveloppe complète ou fragmentaire sur la zone équatoriale de la spore; elle est transparente, d'aspects variés et fréquemment réticulée. Elle est plus ou moins durable et constitue un critère parfois de grande valeur pour la classification des spores. En parlant de la membrane, POKROVSKAIA (1950) dit : "Le périsporium se forme aux dépens du protoplasme des cellules de la paroi intérieure du sporange. Certaines spores en se développant les absorbent. Chez d'autres, ces cellules s'accumulent sur la paroi des spores et forment une sorte d'enveloppe qui est souvent observée sur les spores du type bilatéral surtout de la famille des Polypodiacées. On distingue trois types : membrane très fine et fragile avec des rides, membrane plus grossière que la précédente présentant parfois une sculpture granulée ou tuberculée et enfin, une grosse enveloppe lisse renfermant la spore".

POTONIE en 1934 employa les termes structure et sculpture pour différencier certains caractères de l'exine, termes qu'il importe avant tout de ne pas confondre.

Le terme structure comprend les caractères dus à la forme et arrangement des éléments de l'exine. Le terme sculpture comprend les caractères géométriques externes de cette couche, sans se rapporter à sa constitution intérieure.

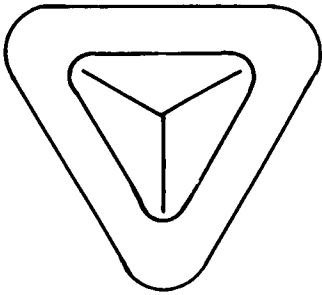
MICROSPORES

MACROSPORES

:		:	:		:
:	Perine	:	:	Périspore	:
:		:	:		:
:	Ectexine	:	:	Exospore	:
:		:	:		:
:	Endexine	:	:	Mésospore	:
:		:	:		:
:	Intine	:	:	Endospore	:
:		:	:		:
:		:	:		:
:	Corps Central	:	:		:
:		:	:		:

FORMATIONS EQUATORIALES, EPAISSISSEMENTS ET PLIS CHEZ LES TRILETES

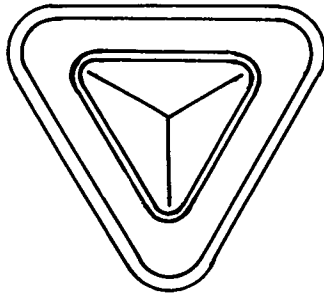
A - CINGULATE



CINGULUM



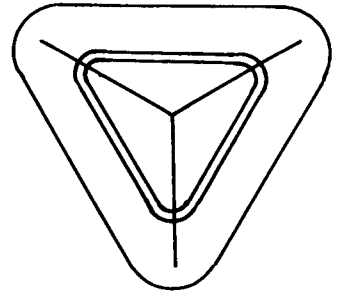
B - CAVATE



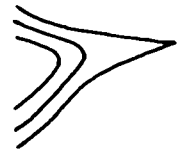
CAVA



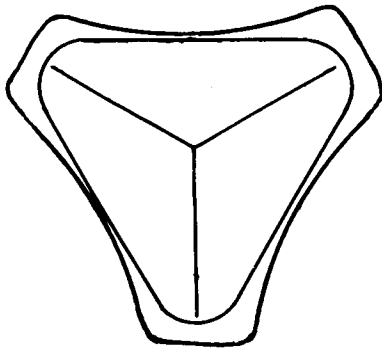
C - ZONATE



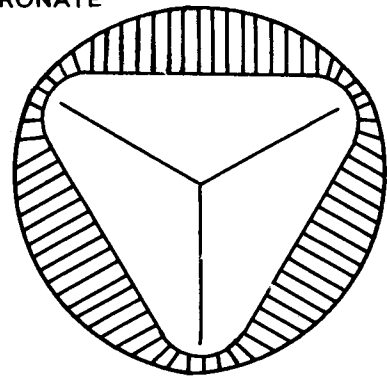
ZONA



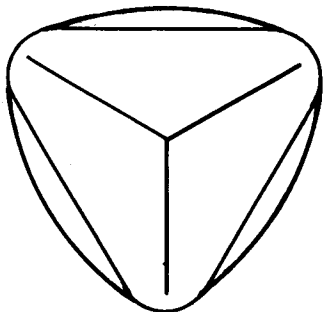
D - AURICULATE



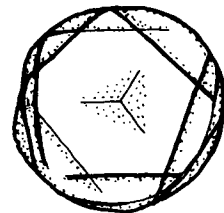
E - CORONATE



F - CRASSITUDE INTERADIAL



G - PLIS



816
1112

d.- sculpture

La sculpture des spores est constituée par des éléments qui prennent leur origine sur la couche externe de l'exine, c'est-à-dire, sur l'ectexine (ou exospore). Ces éléments sont généralement proéminents et se distinguent facilement sur le profil général de la spore; ils ont une fonction pratique car ils rendent plus effective la dissémination des spores par les différents moyens de transport. De ce fait, quelques uns de ces éléments d'ornementation (comme les vessies par exemple) ont de l'air à leur intérieur, ce qui permet à la spore de flotter sur l'eau ou bien d'être transportée plus facilement par l'air. D'une façon générale, les éléments de sculpture sont plus développés et plus nombreux sur la face distale de la spore. Néanmoins, il faut remarquer qu'il existe des spores tout à fait lisses.

Les principaux éléments de la sculpture des spores sont : points (punctae), grains (grana), verrues (verrucae), dents (cristae), épines (spinae), fibres (fimbria), cheveux (capilli), bâtons (baculae), clavas (clavae), murs (muri), cicatrices (cicatrices), rides (canaliculae), réticules (reticulatae), etc... lesquels forment des types de sculpture très particuliers; ces types seront décrits en détail dans le chapitre dédié aux grains de pollen.

Certains auteurs (MOORE, LUNDBLAND, etc...) ont montré que la sculpture des spores n'est pas la même au cours de leur développement (109). Ceci nous indique que, selon l'état de son développement une spore d'une espèce peut acquérir les caractères d'une autre espèce de spore ou bien être tout à fait différente d'une autre spore de la même espèce qui présente un degré plus haut de développement. La sculpture définitive de la spore est complètement atteinte à sa maturité, car lorsque le développement n'est pas terminé, les spores sont soit difficilement séparables les unes des autres dans le sporange soit groupées en amas.

e.- les formations équatoriales, les épaissements et les plis

Il existe des spores dont les parois possèdent des épaissements ou présentent des plis ou bien encore donnent naissance à des formations équatoriales. Ces éléments caractérisent ces spores et sont importants lorsqu'il s'agit de les classer.

Les spores fossiles à formations équatoriales ont un corps central limité par l'endexine. Si l'ectexine forme une mince frange transparente (=zona) en position équatoriale autour de la spore, celle-ci est dite zonate (fig. 9, C). Quelquefois, lorsque l'endexine et l'ectexine se séparent en formant une cavité (=cava), la spore est appelée cavate (fig. 9, B).

Quand la spore montre, autour de son corps central, un anneau équatorial, produit par un prolongement de l'exine et quand la zone d'union est plus étroite que l'épaisseur de l'anneau (=cingulum), la spore est dite cingulate (fig. 9, A). Lorsque l'expansion équatoriale n'est pas uniforme et se forme uniquement sur les régions qui entourent les parties terminales de la marque d'accolement chez les spores du type radial, ces expansions sont appelées auriculae ou valvae et les spores appartiennent au type dit auriculate (fig. 9, D). Enfin, il existe des spores qui présentent une zone équatoriale marginale fibreuse (=corona), dans laquelle les fibres radiales peuvent être unies ou non, simples ou dichotomées; ces spores-ci font partie du type dit coronate (fig. 9, E).

Lorsque l'exine présente des épaissements sur la partie équatoriale de la spore uniquement situés sur les régions interrégionales, chaque épaisseur s'appelle crassitude interrégionale (fig. 9, F). Chez d'autres spores cet épaisse-

ment n'est pas en position équatoriale mais en position distale, dans ce cas il s'agit de crassitude polaire.

Outre les formations et épaisissements déjà décrits, la paroi des spores présente quelquefois des plis (fig. 9, G), qui peuvent être simples ou multiples. Ils sont en rapport avec l'épaisseur de l'exine, et dans le cas d'exines minces, on note souvent une grande quantité de plis. Chez certaines spores, les plis se trouvent toujours en une position qu'on dirait privilégiée; ce fait est employé pour certaines différenciations d'espèces.

8- Homotypie des spores

Il existe des spores, qu'elles soient fossiles ou actuelles, qui présentent des formes et des aspects très semblables, dans certains cas leur similitude est si grande que les différencier devient impossible, même si elles appartiennent à des espèces de plantes très éloignées dans la classification botanique. Les causes principales de l'homotypie des spores peuvent être d'origine biologique et sédimentaire mais il peut aussi s'agir d'une homotypie acquise secondairement après traitements par les différents processus d'extraction des matériaux qui les contiennent.

Il est en effet bien prouvé, que certaines espèces de plantes différentes produisent des spores qui se ressemblent. DEAK (1962), en étudiant 1500 préparations de spores et de grains de pollen actuels, put voir que les genres Adiantum, Dicksonia, Lygodium et Matonia montraient des spores spécifiquement semblables. POOCOCK (1964) assure que certaines spores de formes récentes d'Anemia sont morphologiquement identiques à celles du genre actuel Mohria, et c'est ce qui empêche de définir les limites entre ces deux genres actuels. Il est logique de retrouver cette similitude dans le cas des spores fossiles.

La sédimentation, ainsi que la diagénèse des roches, altèrent, dans certains cas, l'exine des spores. Dans les analyses palynologiques, on trouve des spores dont la paroi a été attaquée par des solutions corrosives qui ont modifié leur sculpture ou bien des spores chez lesquelles on peut voir sur la paroi des impressions de cristaux ou des déchirements qui ont été provoqués lors de la formation de ceux-ci. Dans d'autres cas, les exines se trouvent presque complètement carbonisées, ce qui fait qu'au microscope, elles apparaissent sombres et même noires, ceci empêche de les voir par transparence et par conséquent de les identifier d'une façon précise. Aussi le chercheur doit-il se borner à essayer de les classer en se basant uniquement sur les critères forme et taille. Parfois, les spores possèdent aussi des exines si minces qu'elles se plient très facilement, en donnant des formes qui peuvent ressembler à des spores d'espèces différentes; parfois encore les plis cachent la marque d'accolement ou donnent des formes aberrantes de marque et l'on peut être amené à faire certaines confusions.

A ce qui précède, on peut ajouter que les processus chimiques et physiques réalisés au Laboratoire pour l'extraction modifient parfois l'exine des spores, soit à cause d'une action trop longue des différents acides et substances alcalines soit par les frottements et chocs qui se produisent lors des centrifugations.

9- La production et la dispersion des spores

Afin d'assurer la perpétuité des espèces, les plantes produisent de grandes quantités d'éléments reproducteurs; dans le cas des spores, seule une petite partie d'entre elles donne naissance à un prothalle et peut former une

nouvelle plante; le reste de la production ne germera pas.

Quoique la production des spores soit généralement très importante (*), il existe des cas remarquables où celle-ci est très réduite : c'est ainsi que, chez certaines espèces de plantes, un sporange peut contenir plusieurs milliers de spores mais que par contre dans le cas précis des Hydroptéridées, le macrosporange ne contient qu'une seule spore (12). Chez les fougères du genre Dryopteris on peut compter plusieurs millions de spores dans une simple spore de sporanges; pour ce qui est de Phioqlossium, 1500 spores peuvent être trouvées par sporange et dans un sporange de Isoetes on peut en compter un million. Cette forte différence qu'on trouve dans la quantité de spores produites par des individus d'espèces distinctes a fait réfléchir certains chercheurs sur le besoin de tenir compte, dans le cas des analyses palynologiques quantitatives d'un coefficient de correction.

La dissémination des spores est faite presque totalement par deux agents, l'air et l'eau. Les plantes productrices de spores se trouvent dans les régions basses et humides et même si l'on n'a pas fait d'études précises sur la dissémination des spores, on considère que celle-ci est moins importante que celle du pollen.

B.- LE POLLEN

1- Définition

Le mot "pollen" tire son origine du mot latin qui signifie "farine". Ce terme désigne l'ensemble des grains microscopiques que sont les organes de fécondation mâle des plantes classées dans les divisions botanique des Préphanérogames et des Phanérogames.

Ce terme "pollen" désigne donc la substance composée par l'ensemble des petites masses de formes, ornements et couleurs différentes appelées "grains de pollen". Néanmoins, il est très courant de trouver le mot pollen employé pour indiquer chacun de ces éléments.

2- L'origine des grains de pollen

Les Préphanérogames sont des plantes intermédiaires entre les Ptéridophytes et les Phanérogames et qui se distinguent de ces dernières par l'absence de graines réelles. La reproduction se faisait en effet au moyen d'ovules sans stade d'arrêt de la graine et sans embryons. On peut donc dire qu'elles sont des Cryptogames Vasculaires à ovules primitifs.

Les Phanérogames sont des plantes qui se reproduisent par l'intermédiaire de fleurs et de graines, c'est-à-dire au moyen d'ovules avec embryons subissant un stade d'arrêt ou de vie latente. Elles se divisent en : Gymnospermes, Chlamydospermes et Angiospermes (147) parmi lesquelles les principales sont les Gymnospermes et les Angiospermes.

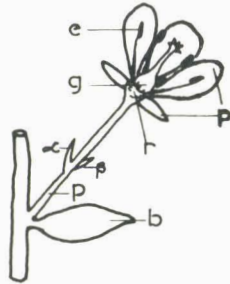
Les Gymnospermes sont des plantes à ovules nus enfermés dans un ovaire et portés par des écailles; les graines sont nues; il n'y a pas de fleurs aussi sont-elles aussi nommées plantes sans fleurs.

Les Angiospermes sont des plantes dont les graines se trouvent dans des cavités fermées (à l'intérieur du fruit); elles sont aussi nommées plantes à fleurs.

(*)un milligramme de terre cultivée peut contenir plus de 100 000 spores de champignons. (146).

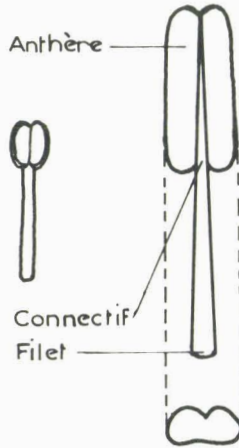
L'ORIGINE ET LA GERMINATION DES GRAINS DE POLLEN

A-FLEUR THEORIQUEMENT COMPLETE



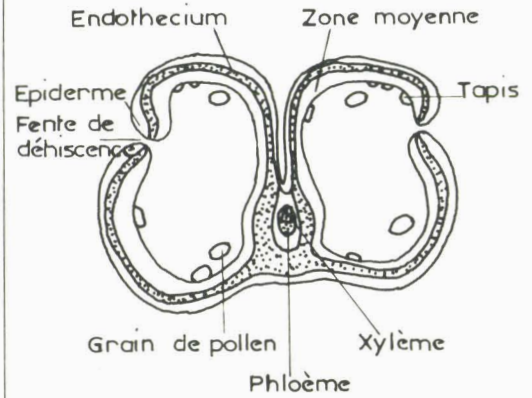
b-Bractée
p-Pédoncule
r-Réceptacle
P-Pièces du périanthe
e-Etamines
g-Gynécée
α, β -Préfeuilles

B- ETAMINE D'ANGIOSPERME



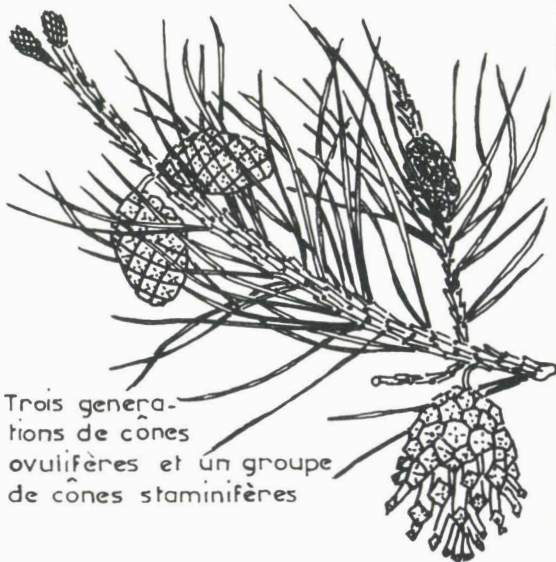
Anthère
Connectif
Filet

C-SECTION TRANSVERSALE D'UNE ANTHERE DEHISCENTE



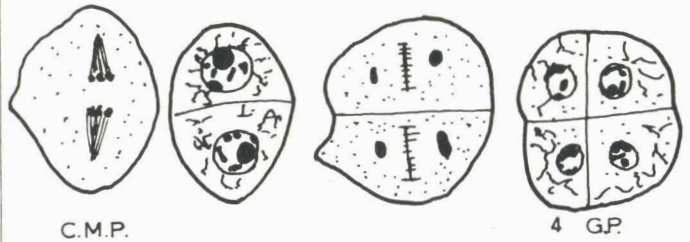
Endothecium
Zone moyenne
Epiderme
Fente de déhiscence
Tapis
Grain de pollen
Xylème
Phloème

D-BRANCHE DE *Pinus L.*



Trois généra-
tions de cônes
ovulifères et un groupe
de cônes staminifères

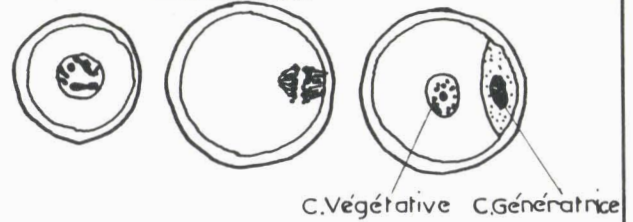
E-MEIOSE DE LA C.M.P. CHEZ *Zea Mays L.*



C.M.P.

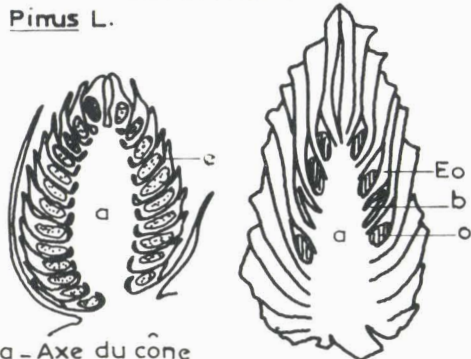
4 G.P.

F-DU GRAIN DE POLLEN UNICELLULAIRE AU GRAIN DE POLLEN BICELLULAIRE



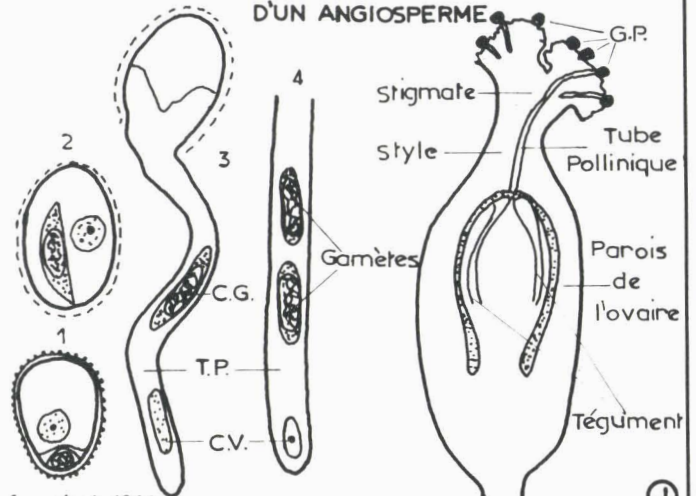
C.Végétative C.Génératrice

G-COUPES LONGITUDINALES D'UN CONE STAMINIFERE ET D'UN OVULIFERE CHEZ *Pinus L.*



a - Axe du cône
e - Etamine
b - Ecaille membraneuse
E_o - " ovulifere
o - Ovule

H-STADES DE LA GERMINATION DES GRAINS DE POLLEN D'UN ANGIOSPERME



G.P.
Stigmate
Style
TUBE Pollinique
Gamètes
C.G.
T.P.
C.V.
Parois de l'ovaire
Tégument

D'après M.Guinochet 1965.

La graine renferme une plantule qui se développera durant la germination mais aussi une ou deux feuilles spéciales, les cotylédones, qui servent à nourrir la plante pendant la première phase de son développement.

Les étamines sont les organes sexuels mâles des Phanérogames. Elles sont constituées par deux parties : une partie grêle, le filet, et une partie supérieure l'anthère. Le filet soutient l'anthère qui est formée par quatre sacs polliniques se réunissant à maturité en deux paires avant de libérer le pollen qu'ils renferment (fig. 10, B).

Les cellules mères du pollen (C.M.P.) qui se trouvent dans des sacs polliniques se divisent en quatre parties égales après la méiose lors de la formation du pollen (pollination), sauf dans certaines exceptions (Cypéacées, par exemple). Les quatre parties produites par la méiose donneront naissance à quatre grains de pollen unicellulaires unis en tétrade. Dans le cas des Cypéacées trois des quatre noyaux qui résultent de la méiose de la cellule mère vont dégénérer tandis que celui qui reste s'enveloppe d'une paroi donnant ainsi un seul grain de pollen toujours unicellulaire (fig. 10, E).

Généralement dans les sacs polliniques, les tétrades se séparent les unes des autres et cette dissociation qui est accompagnée ou suivie de la rupture de la paroi de la cellule mère, libérant ainsi les grains de pollen unicellulaires. Pourtant, dans le cas de certaines plantes (quelques Ericacées, la plupart des Orchidacées et Asclepiadacées), les grains ne se séparent pas et restent associés en formant une pollinie.

Chez quelques espèces de plantes (généralement des régions intertropicales), les grains de pollen unicellulaire se divisent immédiatement ou au bout d'un certain temps qui peut varier entre quelques jours et plusieurs mois (147). Après cette division, les grains sont formés par deux cellules, inégales, écartées par une membrane ectoplasmique (fig. 10 H).

Après la déhiscence de l'anthère, les grains de pollen sont généralement bicellulaires, même si chez certaines espèces ils peuvent être tricellulaires (dans ce cas, les gamètes sont déjà constitués au moment de leur dispersion). Mais, qu'ils soient mono-, bi- ou tricellulaires, on considère que les grains de pollen libérés par la déhiscence de l'anthère sont déjà mûrs, c'est-à-dire, définitivement constitués et prêts à la pollinisation, c'est-à-dire au transport des grains depuis les étamines jusqu'aux stigmates du pistil chez les Angiospermes ou bien jusqu'à l'ovule chez les Gymnospermes (fig. 10, G).

Chez les Gymnospermes les étamines sont disposées en hélices autour d'un axe et constituent ainsi une espèce d'épi dense appelé strobile ou cône et considéré comme un fleur. Les éléments femelles (ovules) forment aussi des cônes ovulifères considérés quelques fois comme des fleurs et quelquefois comme des inflorescences (fig. 10, D, G). Dans le cas des Gymnospermes les deux cellules de pollen se divisent plusieurs fois avant la formation des gamètes. On appelle gamètes les cellules reproductrices sexuées qui lors de leur union et fusion, donnent naissance à une troisième appelée zygote.

Chez les Angiospermes les grains de pollen sont bicellulaires, l'une étant la cellule végétative et l'autre la génératrice; mais cette dernière se divisera par mitose et sera à l'origine de deux gamètes (fig. 10, F-H).

Chez les Préphanérogames l'ovule est l'homologue d'un macrosporange ordinairement unispore entouré d'un tégument (sporophylle). Les fructifications mâles étaient des "microsporangies" ou rudiments de fleurs avec étamines (*). Le sporophylle laissait une petite cavité qui permettait l'entrée des éléments mâles

(*) Ces "microsporangies" étaient les producteurs des éléments mâles qui formaient le prepollen.

à l'intérieur de l'ovule primitif. Après la fécondation, qui avait lieu soit avant, soit après la dissémination des ovules, ceux-ci donnaient immédiatement et directement naissance à une nouvelle plante.

3- La taille des grains de pollen

De même que chez les spores, la taille des grains de pollen a une grande valeur lorsqu'il s'agit de la différencier et de les classer. Les grains de pollen d'espèces distinctes d'une même plante peuvent avoir des tailles très variées, même si morphologiquement ils sont similaires. C'est ainsi, que plusieurs mesures faites sur les grains de pollen du genre Picea ont aidé à identifier différentes espèces.

Généralement les grains de pollen sont petits, car leur taille varie entre 5 et 200 microns mais la plupart d'entre eux sont compris entre 25 et 100 microns, parfois on trouve des tailles supérieures à 200 microns ou inférieure à 5 microns, mais ces cas sont très rares. FELIX (12) trouve que, parmi les grains de pollen à dimension exceptionnelles, les plus caractéristiques sont ceux du genre Zostera (Potamogetonacées) plantes monocotylédones sous-marines, ces grains ressemblent à un tuyau membraneux qui a plus de 2500 microns de long et seulement 3 à 4 microns de large. Le même auteur dit que, comme règle générale, les grains de pollen les plus grands correspondent aux plantes à fleurs éphémères.

Généralement les grains de pollen d'une espèce donnée ont une taille constante, néanmoins, des variations dues à plusieurs causes peuvent se présenter. MAKO (1957) trouva que les jeunes grains de pollen, appartenant à plusieurs espèces de plantes, sont plus petits que les adultes et qu'ils ne présentent pas de caractéristiques primaires nettes. SCHOCH-BODMER (1940) montrent que la taille des grains de pollen est indépendante de l'état de nutrition de la plante (128). Van der Hammen en 1963 trouva que la taille des grains de pollen de Rhizophora est en rapport avec l'âge des échantillons étudiés de "The Shetter Bett" (Guyanne Britannique); il observa que les grains de pollen des échantillons inférieurs étaient plus petits que ceux des supérieurs.

Les traitements chimiques que l'on fait sur les spores et les grains de pollen, lors de leur préparation palynologique, ont une grande influence sur la taille de ces éléments; ainsi, l'acide fluorhydrique les contracte et l'acide acétique les dilate. Pareillement, l'aplatissement des spores et des grains de pollen à cause des processus de sédimentation, peut faire changer leurs dimensions.

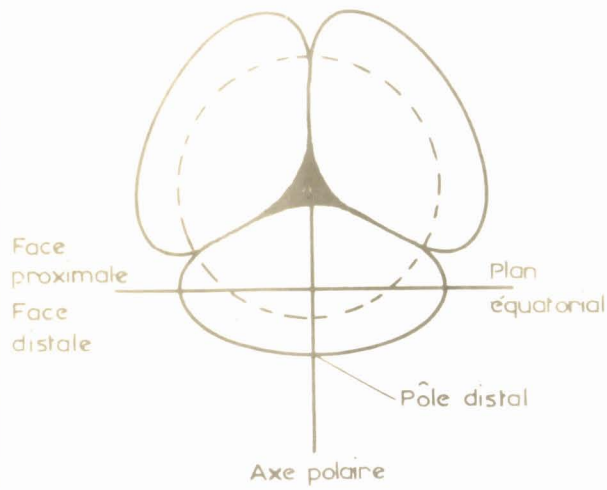
4- La forme des grains de pollen

La nomenclature employée pour décrire les grains de pollen est semblable à celle des spores.

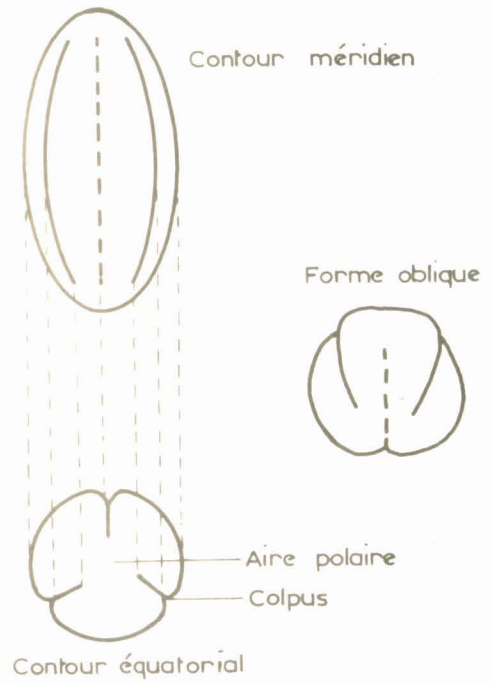
Chaque grain de pollen a deux pôles, le pôle proximal qui correspond au centre de la tétrade et le pôle distal opposé au premier. La ligne qui unit les deux pôles s'appelle axe polaire et le plan perpendiculaire à celui-ci, qui passe au milieu du grain, est dit plan équatorial (fig. 11); le contour que le grain dessine sur le plan équatorial s'appelle contour équatorial du grain. Le plan équatorial divise le grain en deux parties, la partie proximale et la partie distale. Un grain de pollen possède un seul plan équatorial mais il a un nombre infini de plans perpendiculaires à celui-ci; ces plans contiennent toujours l'axe polaire et le profil dessiné par le grain sur l'un de ces plans

ASPECT GENERAL DES GRAINS DE POLLEN

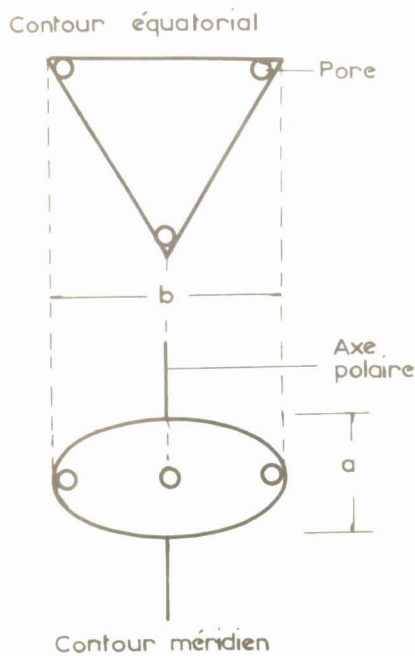
A - TETRADE



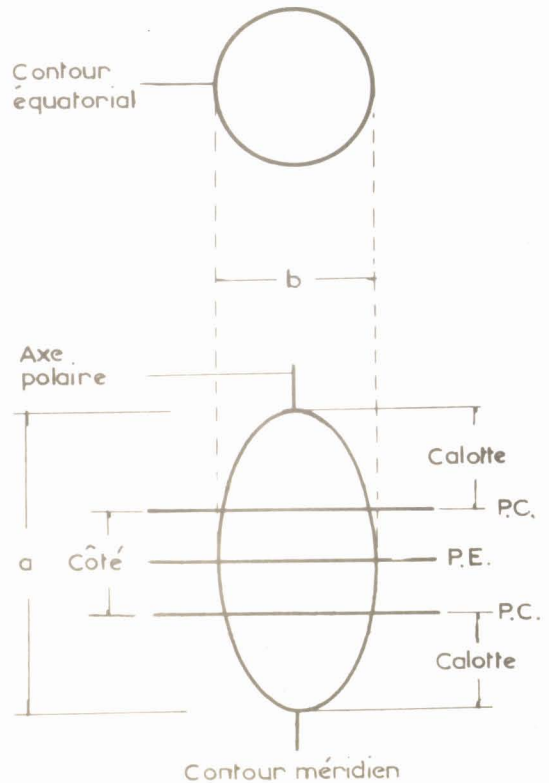
B - CONTOURS ET FORME



C - BREVAXONES



D - LONGAXONES



(dit plan méridien) est nommé contour méridien du grain. (fig. 11).

Selon la description antérieure, un grain de pollen peut être considéré, sauf quelques exceptions (cas des grains de pollen des Pinacées), comme un ellipsoïde de révolution dans lequel l'axe polaire du grain correspond à l'axe de symétrie.

Dans le cas des grains de pollen qui ont plus d'un axe de symétrie, on donnera le nom d'axe polaire à celui qui contiendra les pôles, c'est-à-dire, l'axe qui est ou a été orienté vers le centre de la tétrade; il faut dire que parfois l'axe polaire n'est pas le plus grand axe du grain.

Les grains de pollen fossiles se présentent le plus souvent sous un aspect correspondant à des formes du contour équatorial et des contours méridiens car ce sont ces formes qui correspondent généralement à la position de dépôt des grains. Pourtant, on peut aussi rencontrer d'autres formes très variées quand la position de dépôt du grain change, c'est-à-dire quand la position de l'axe polaire est oblique par rapport à la surface de dépôt (fig. 11, B).

En général, les grains de pollen montrent un contour équatorial de formes suivantes : arrondie, circulaire, circulaire trilobée, circulaire pentalobée, triangulaire, quadrangulaire, pentagonal, hexagonal et polygonal avec côtés courbes ou droits (fig. 12).

Quant au contour méridien des grains de pollen, il peut être circulaire, elliptique, rhomboïdal, rectangulaire, ovale etc...

La fig. 12 présente les contours équatoriaux et méridiens des grains de pollen radialement symétriques selon FAEGRI et IVERSEN d'après KUYL, MULLER et WATERBOLK (1956).

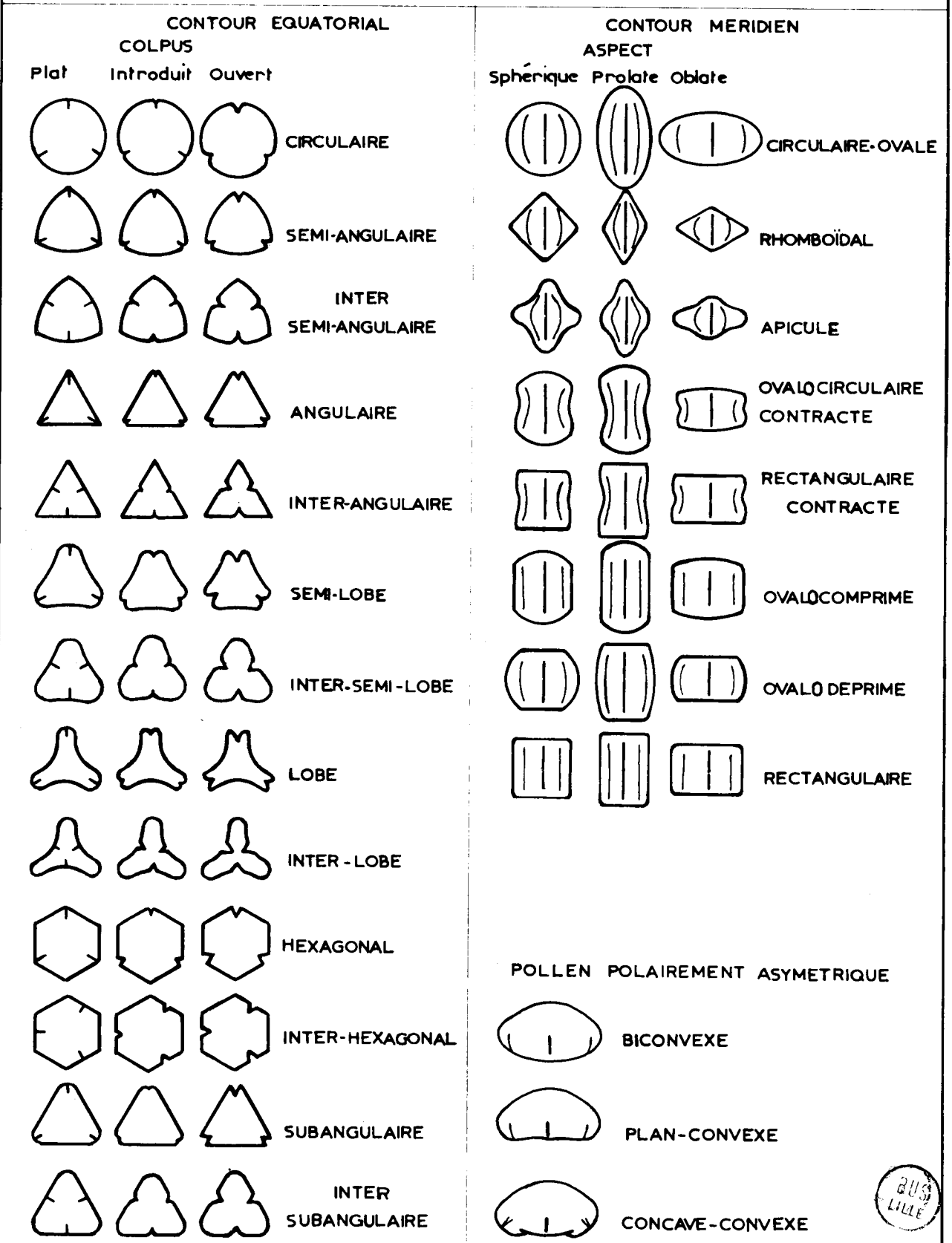
G. ERDTMAN proposa en 1947 (258 a) la nomenclature suivante pour les différentes formes reconnues chez les grains de pollen :

- Perprolate : ovale allongé
- Prolate : ovale
- Subprolate : presque ovale
- Sphéroïdal : sphérique
- Prolate-sphéroïdal : ellipsoïde allongé
- Oblate-sphéroïdal : ellipsoïde comprimé
- Sub-oblate : ovale presque comprimé
- Oblate : ovale comprimé.

ERDTMAN donne même des chiffres qui montrent la relation qu'il doit y avoir entre la longueur de l'axe polaire et le diamètre équatorial du grain. Cependant, comme l'indique POKROVSKAIA (1950), ceci est trop strict, car le même grain peut présenter plusieurs formes selon son degré de compression et de gonflement.

C'est ainsi qu'il est plus pratique d'employer la terminologie de THOMSON et PFLUG (338) quand il s'agit de la forme des grains de pollen. Selon cette terminologie on appelle longaxones (fig. 11, D) les grains de pollen chez lesquels l'axe polaire (a) est plus long que le diamètre équatorial (b); la relation entre les deux longueurs représente l'indice d'aplatissement. Les grains chez lesquels le diamètre équatorial est plus grand que l'axe polaire sont appelés brevaxones (fig. 11, C). Arbitrairement un grain de pollen peut être divisé en 3 parties par des plans dits de la calotte : l'une centrale limitée par ces deux derniers plans et latéralement par les deux côtés, et les deux autres en position externe étant chacune limitée par un pôle et un plan de calotte; à ces deux dernières on a donné le nom de "calotte". Les calottes et les côtés ont la même largeur c'est-à-dire un tiers de celle de l'axe polaire (fig. 11, D).

CONTOUR EQUATORIAL ET CONTOUR MERIDIEN DES GRAINS DE POLLEN RADIALEMENT SYMETRIQUES



D'après Kuyt, Muller et Waterbolk 1955 dans Faegri et Iversen 1964.



Parmi les Gymnospermes, le pollen des Coniférales est, peut-être, le plus commun; il est l'un des plus caractéristiques et l'un des plus nombreux dans les sédiments. Le caractère principal des grains de pollen de ces plantes est la présence chez certaines espèces, de sacs d'air ou de vessies nommés "saccus", en général en nombre de deux dans le cas des grains des Abiétacées et d'un à six chez les Podocarpaceés, même si à l'intérieur de ces familles on trouve des grains sans sacs.

Les Abiétacées sont des plantes qui se trouvent distribuées principalement sur l'hémisphère Nord et les Podocarpaceés sur l'hémisphère Sud. Le pollen des Abiétacées peut avoir des sacs ou non, dans le premier cas nous trouvons le pollen des genres : Abies, Pinus, Picea, Cedrus, Pseudo-larix, etc, dans le second cas le pollen des genres : Tsuga, larix, Pseudo-tsuga.

Les grains à sacs sont appelés "saccates" ou "ailés"; ils se placent dans la tétrade autour d'un axe* et les sacs sont toujours à l'extérieur. Ils sont unis par le corpus ou corps des grains, lequel a son pôle proximal vers le centre de la tétrade et le distal vers l'extérieur. Le corpus présente parfois sur la face proximale un épaississement appelé cappa, certains auteurs le désignent sous le nom de calotte mais je préfère ne pas employer ce terme pour éviter une confusion avec le même terme utilisé dans le cas des grains longaxones; son épaisseur reçoit le nom de crête marginale quand on voit le grain sur son contour équatorial (fig. 13, B).

Les grains bissaccates peuvent être selon SCHOPF (19'2) supra ou hyperbissaccates lorsque la longueur des sacs est plus grande que la largeur du corpus, para ou isobissaccates quand les deux dimensions sont identiques et sub ou hypobissaccates lorsque la longueur des sacs est plus petite que la largeur du corpus (fig. 13, E, F, G).

5- La paroi des grains de pollen

On appelle structure les caractères dus à la forme et arrangement des éléments de l'exine.

a.- structure

Dans le chapitre consacré aux spores, j'ai déjà décrit la composition chimique de la paroi des spores et des grains de pollen et on a déjà vu qu'elle est à peu près identique dans les deux cas. La plus grande différence, lorsqu'il s'agit de la paroi des spores et des grains de pollen, se rencontre dans leur structure, car alors que chez les spores, on ne distingue jamais que deux couches dans l'exine (endexine et ectexine), chez les grains de pollen la paroi est très complexe.

En effet, si nous coupons transversalement un grain de pollen, celui-ci présente la section suivante : un corps central et deux couches concentriques.

Le corps central d'un grain de pollen a les mêmes caractéristiques que celui de la spore; il disparaît rapidement si la germination du grain ne se réalise pas. Les deux couches concentriques sont : l'intine et l'exine.

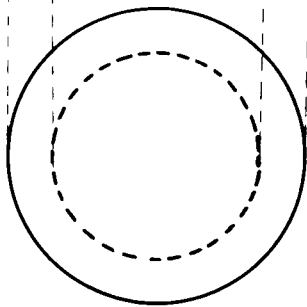
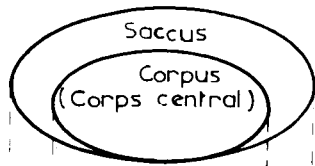
L'intine est une couche cellulosique qui se détruit facilement; elle ne se fossilise pas et elle est à l'origine des tubes polliniques.

L'exine est la couche externe des grains de pollen et, d'après les études faites sur le pollen actuel, on sait qu'elle peut être absente chez certaines plantes aquatiques dont la pollinisation se fait dans l'eau; dans ce cas, les grains de pollen ne se fossilisent pas. Cette couche, lorsqu'elle est observée

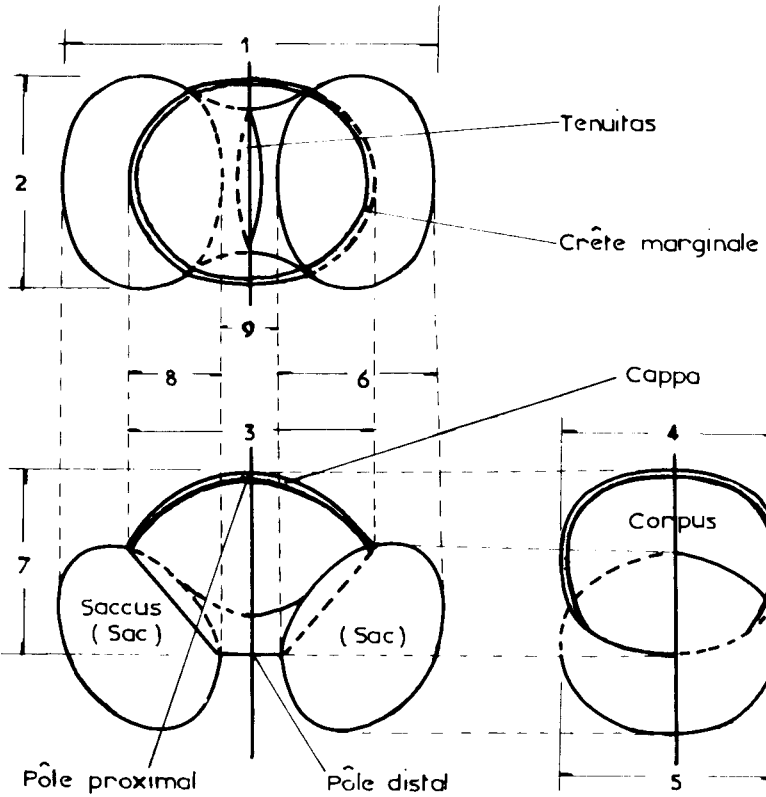
* ou d'un point.

DIFFERENTS ASPECTS DES GRAINS DE POLLEN SACCATES

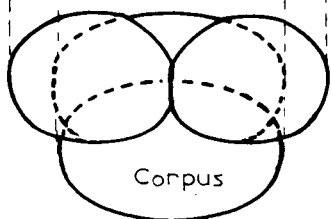
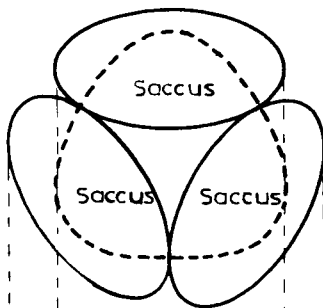
A - MONOSACCATE



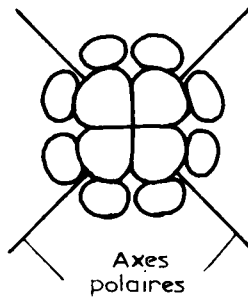
B - BISACCATE



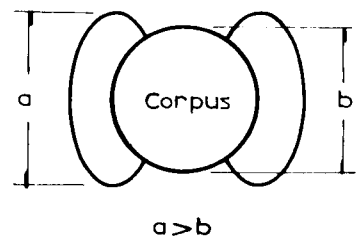
C - TRISACCATE



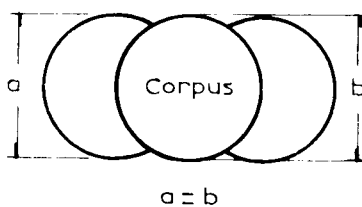
D - TETRADE DE BISACCATES



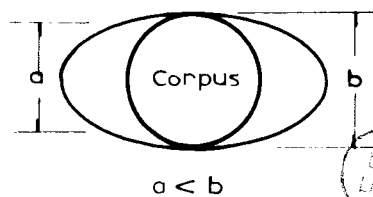
E - HYPERBISACCATE



F - ISOBISACCATE



G - HYPOBISACCATE



UNIVERSITE DE LILLE

au microscope optique peut elle-même être divisée en deux autres : l'endexine et l'ectexine, toutes deux à structure complexe et même à composition chimique un peu différente.

L'endexine est lisse et homogène, même si parfois on y observe quelques pores et fractures (128). Au microscope électronique, elle montre plusieurs couches dont quelques unes sont continues, tandis que d'autres apparaissent uniquement autour des ouvertures.

L'ectexine est plus complexe que l'endexine; elle est constituée par plusieurs éléments, qui, selon leur distribution, produisent toute une variété de types de structure; cette structure est basée sur les trois couches concentriques qui constituent cette partie externe de l'exine: la couche de la base ou de base (Foot Layer), la couche des columelles et le tectum (fig. 14, A).

Les trois principaux types de structure de la paroi des grains de pollen se basent sur ces trois couches : lorsque le tectum forme autour du grain une couche protectrice continue mais cependant parfois perforée, la structure s'appelle tectate; si les éléments * sont libres et isolés, c'est-à-dire, si le tectum n'existe pas, la structure est du type intectate et si le tectum se trouve partiellement absent, le grain appartient au type semitectate. Entre ces types de structure existent évidemment des cas de transition (fig. 14, B).

Chez les grains du type tectate, les différentes variétés de structure sont déterminées en utilisant le préfixe supra tandis que chez les intectate on emploie le préfixe infra. Ainsi, un grain suprareticulate présente un réticule sur le tectum alors que chez un grain infrareticulate, c'est la couche des columelles qui forme, sous le tectum un réticule.

Dans le type de structure intectate (fig. 14, B), les éléments de la couche des columelles peuvent former des grains isolés (granulée), des colonnes (baculée), des verrues (verruquée), des pics (hérissée), etc. Chez quelques grains du type semitectate, le tectum ne couvre pas entièrement la surface des grains et laisse des vides ou ouvertures appelées fenêtres, qui alternent avec d'autres surfaces couvertes; les grains à fenêtres sont groupés dans le type dit fenestrate (fig. 17).

Certains grains de pollen présentent une structure et une sculpture identique; chez d'autres, elles sont distinctes. Malheureusement, chez les grains fossiles il n'est pas facile de différencier la structure et la sculpture, car un grand nombre de caractères disparaissent ou sont altérés lors de la sédimentation ou lors de l'extraction du Laboratoire.

En résumé PIERCE (1941) définit ainsi les termes employés par FAEGRI et IVERSEN (1950) en ce qui concerne la structure de l'ectexine :

1- Structure de l'ectexine

A- Tectate : ectexine constituée de deux couches distinctes plus ou moins continues séparées par une rangée de columelles.

B- Intectate : ectexine dont les deux couches ne sont pas discernables.

2- Structure du sub-tectum différent aspect de la couche des columelles.

A- Infrapunctate : columelles de moins 1 micron de diamètre sans former de dessin géométrique.

B- Infragranulate : columelles égales ou plus grandes que 1 micron de diamètre.

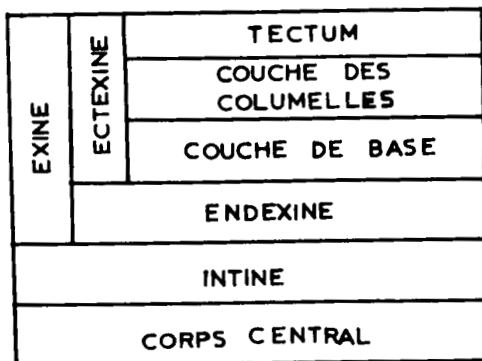
C- Infrareticulate : columelles arrangées en forme de réseau.

D- Infraruqulate : columelles alignées en plis angulaires ou irréguliers.

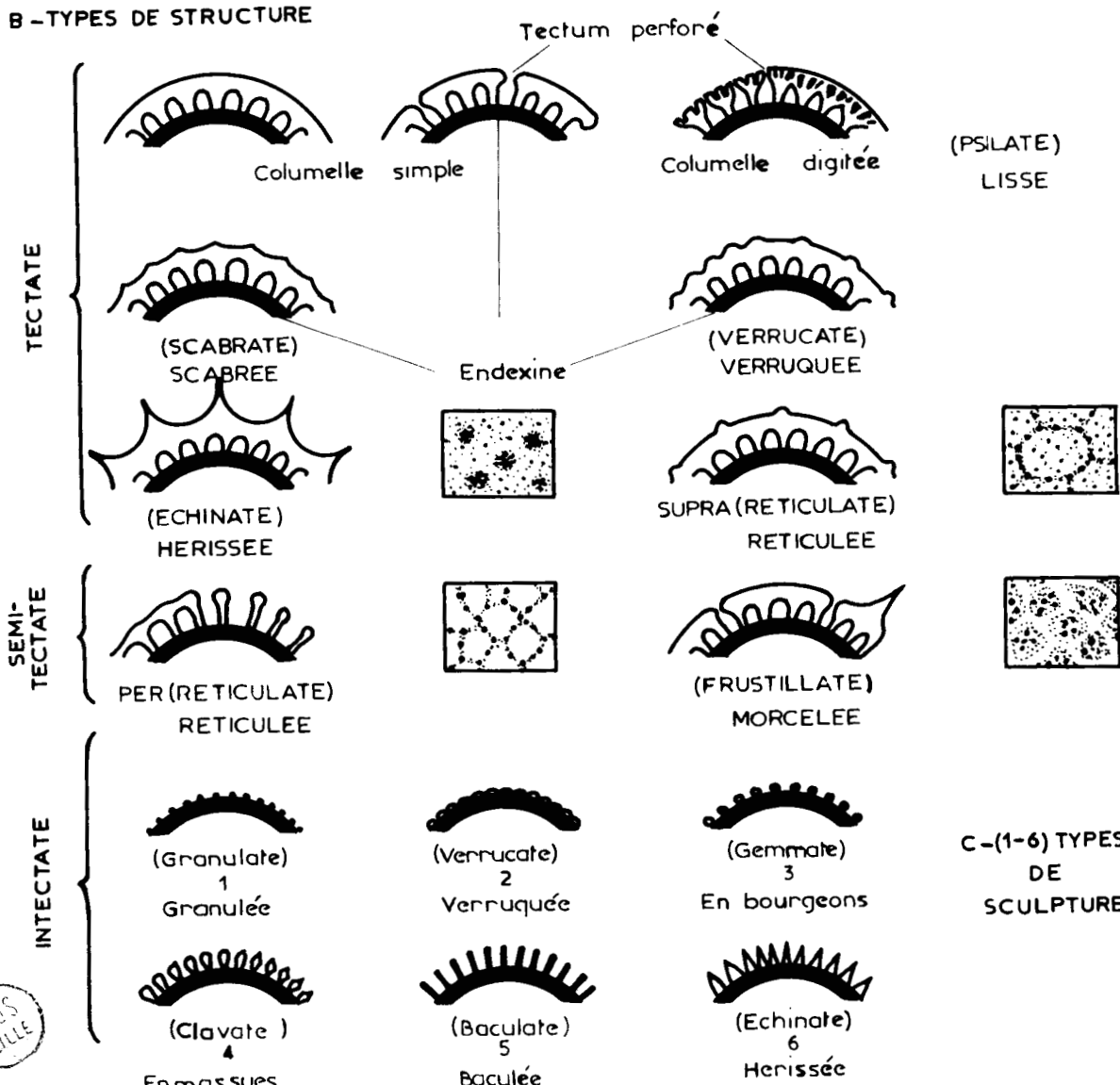
* La couche des columelles est constituée par une série de colonnes, généralement simples (même si elles peuvent être digitées) qui séparent la couche de base et le tectum.

STRUCTURE ET SCULPTURE DE L'EXINE DES GRAINS DE POLLEN

A-STRUCTURE DE LA PAROI



B-TYPES DE STRUCTURE



BUS LILLE

E- Infrastriate : columelles alignées en lignes directes ou en spirales parallèles.

b.- sculpture

On a déjà dit que la sculpture de l'exine n'est pas en relation avec sa construction interne, car elle comprend uniquement des caractéristiques géométriques externes. La sculpture est un caractère très important et souvent un excellent moyen de reconnaissance.

Cependant, comme font remarquer FAEGRI et IVERSEN, il n'est pas toujours facile de la décrire en termes exacts et c'est pour cela qu'on a recours à une nomenclature restreinte.

Les différents types de sculpture se distinguent d'après la forme et l'arrangement des éléments de sculpture. On entend par éléments de sculpture toutes les projections qui dépassent d'une surface imaginaire, celle-ci pourrait être la surface de l'endexine chez les grains du type intectate ou une surface imaginaire qui touche les parties les plus basses de la face externe du tectum chez les grains du type tectate.

PIERCE (1961) décrit les différents types de sculpture (fig. 15) de l'exine de la façon suivante (d'après F. et I., 1950) :

- A- Foveolate = fovéolée : exine perforée, diamètre des trous égales ou plus grands qu'un micron.
- B- Granulate : exine à texture d'aspect grossier, dû à des éléments de sculpture positive de plus d'un micron de diamètre.
 - 1. Baculate = baculée : éléments en forme de petits bâtons cylindriques (baculae).
 - 2. Clavate = en massues : éléments en forme de massue (clavae).
 - 3. Echinate = hérissée : éléments à base large à forme pointue, en forme de cône (echinae).
 - 4. Gemmate = en bourgeons : éléments en forme de globules à base restreinte (gemmae).
 - 5. Spinatae = épineuse : éléments à base étroite à forme pointue (spinae).
 - 6. Verrucate = verruqueuse : éléments à base large en forme de dôme (verrucea).
- C- Psilate = lisse : exine sans ornementation, surface lisse
- D- Punctate = ponctuée : exine à aspect de texture fine, dûe à des trous ou des projections de moins d'un micron de diamètre.
- E- Reticulate = réticulée : exine portant un réseau constitué par des arêtes unies (murs = murus) qui renferme des espaces polyédriques (lumina = lumière).
- F- Rugulate = rugueuse : exine à ornementation à arrangement plus ou moins irrégulier, arêtes sinueuses ou enroulées en spirale ou bien avec des cicatricules.
- G- Striate = striée : exine à ornementation soit à crêtes parallèles et cicatricules soit à crêtes parallèles ou cicatricules.

6- Les ouvertures

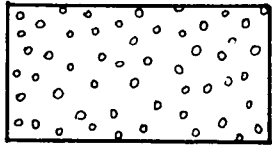
a.- les mécanismes de la germination

Après la fin de la pollinisation, le grain de pollen va germer

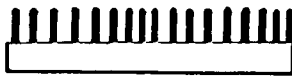
LA SCULPTURE DES POLLENOSPORES



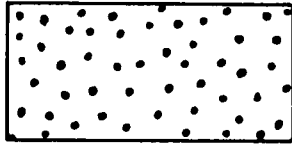
FOVEOLEE



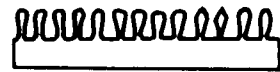
(FOVEOLATE)



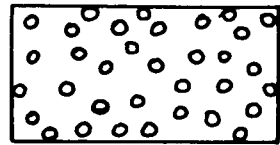
BACULEE



(BACULATE)



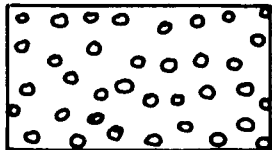
EN MASSUES



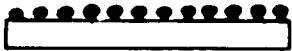
(CLAVATE)



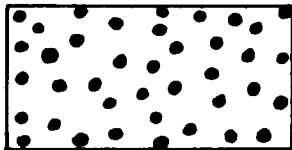
HERISSEE



(ECHINATE)



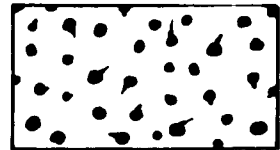
EN BOURGEONS



(GEMMATE)



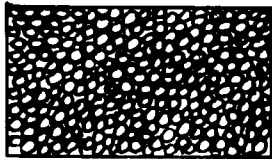
EPINEUSE



(SPINATE)



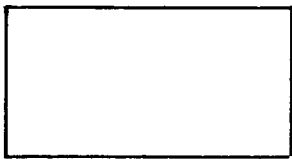
VERRUQUEUSE



(VERRUCATE)



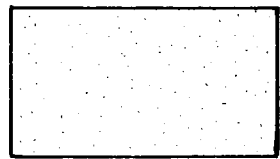
LISSE



(PSILATE)



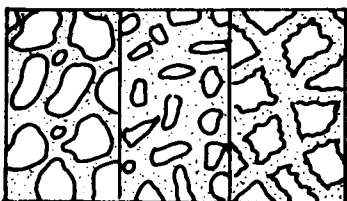
PONCTUEE



(PUNCTATE)



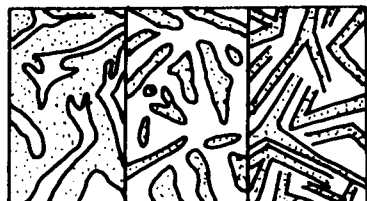
RETICULEE



(RETICULATE)



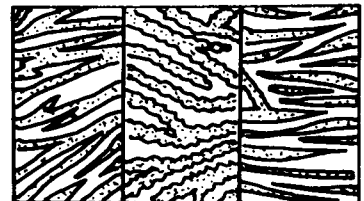
RUGULEE



(RUGULATE)

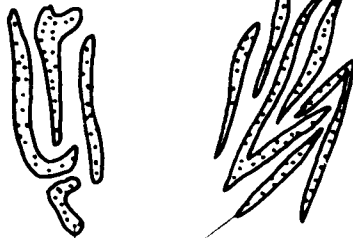
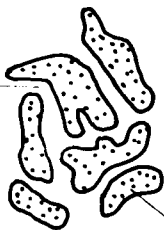


STRIEE

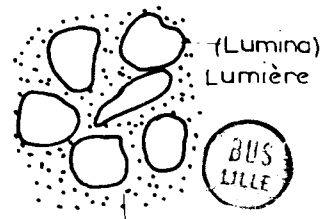


(STRIATE)

(Lumina)
Lumière



(Vallae) Vallées



(Muri)
MURS

sur le stigmate ou sur le sommet de l'ovule sur lequel il est tombé. Le temps de germination varie selon les espèces et les conditions du milieu; il peut être de quelques minutes chez certaines Graminées ou de quelques jours chez quelques Garryacées (147). La germination commence avec l'augmentation de volume du corps central du grain, ce qui occasionne une hernie de l'intine à travers un porus, un colpus ou la fissure germinale de l'exine; cette hernie est le principe du tube pollinique qui s'allongera et avancera jusqu'à l'ovule ou s'effectue la fécondation. Selon les espèces, le grain peut donner naissance à un ou plusieurs tubes, mais dans ce dernier cas, seul l'un d'entre eux est fonctionnel.

On peut dire qu'un grain de pollen est une microspore dans laquelle le tube pollinique a la valeur d'un prothalle mâle très réduit, ce qui conviendrait à dire qu'un gametophyte mâle parasite le sporophyte.

b.- les différents types d'ouvertures

Chez les grains de pollen on trouve trois sortes d'ouvertures : la fissure germinale proprement dite toujours en position distale et deux autres types d'ouvertures très particulières qui reçoivent les noms de colpus et porus.

Lorsque la fissure germinale existe sur un grain de pollen, elle peut être de forme allongée : c'est un sulcus (fig. 20, A) et le grain est dit sulqué ou sulcate; si cette même fissure est arrondie le grain est dit ulqué. Le sulcus ne se rencontre que chez quelques Gymnospermes et certaines Monocotylédones.

Dans le cas des Gymnospermes saccates (coniférales), la fissure germinale (fig. 13, B) se trouve sur le corpus, au milieu des sacs et quoique toujours elle ait généralement décrite comme un sulcus, elle représente une surface mince de l'exine qui fonctionne comme un ouverture bordée et devrait d'une manière plus appropriée être appelée tenuitas.

Les ouvertures ont une grande valeur dans la classification et l'identification des grains de pollen, car selon leur nombre, leur forme, leur taille et leur position sur le grain, elles vont déterminer la classe de ces éléments reproducteurs.

Le nombre d'ouvertures par grain varie, selon les espèces, entre 0 et 100; bien que peu de grains apparaissent sans ouvertures visibles, ces grains montrent une surface continue et font partie du type de grains dit inaperturate.

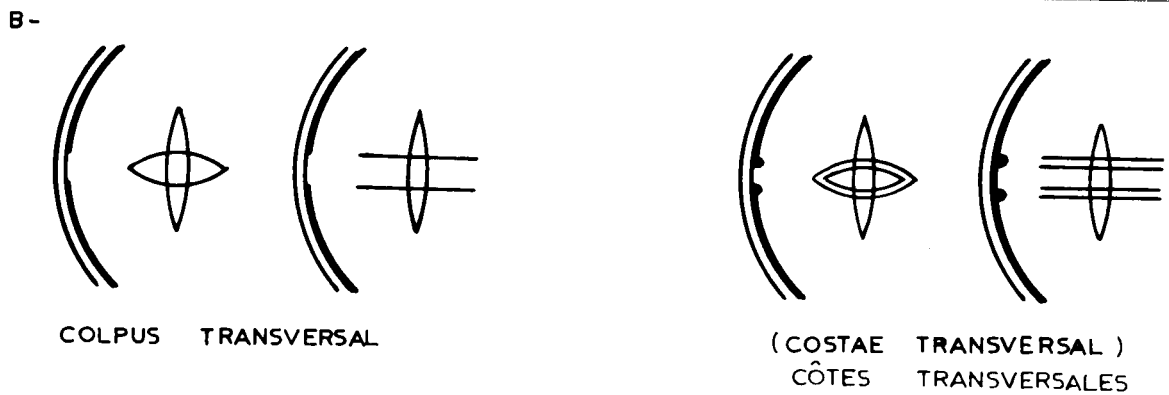
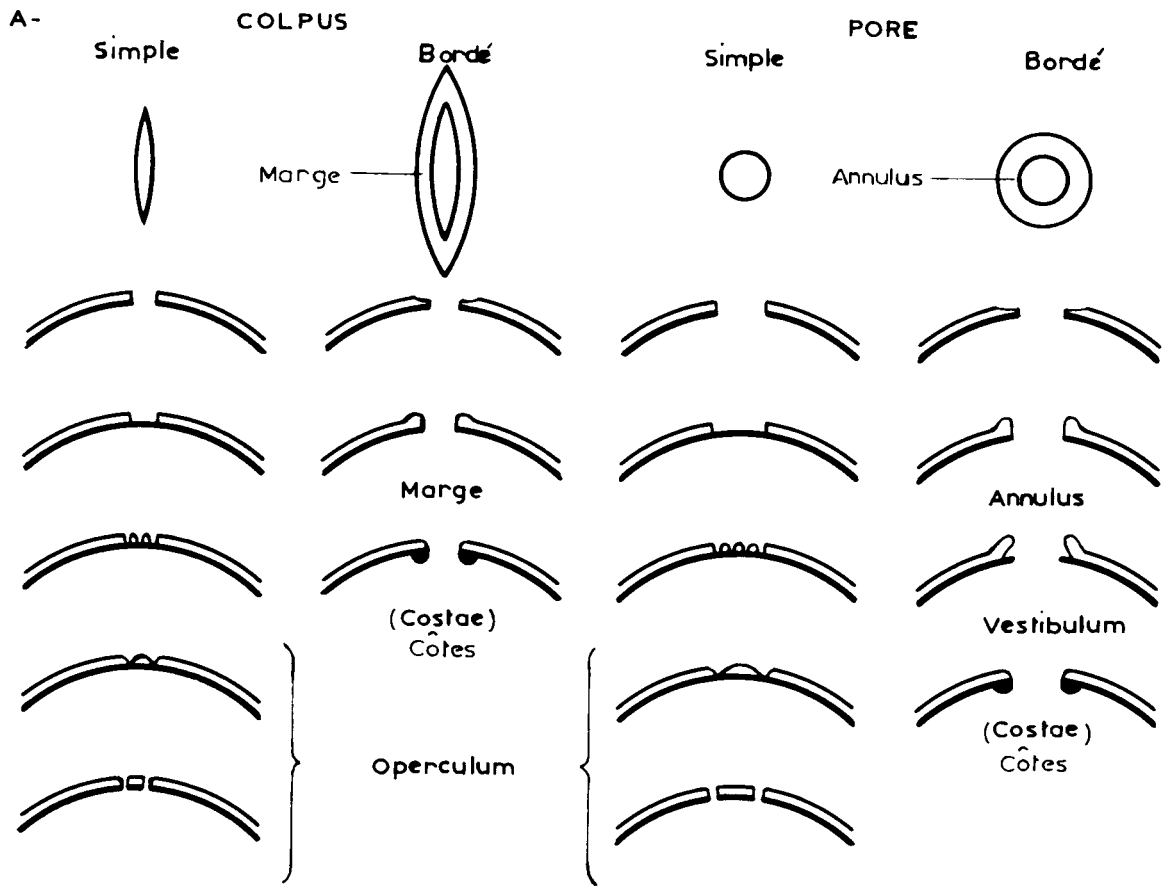
Les colpus (fig. 11-16-18-20) appelées aussi sillons sont des dépressions de l'exine de forme allongée à terminaison en angle aigu; l'ectexine s'y trouve mince, l'endexine est moins affectée. Outre qu'il permet la sortie du tube pollinique, le colpus joue le rôle d'un mécanisme de régulation de volume du grain, en permettant à l'exine de s'accomoder car elle est semi-rigide.

Les porus (fig. 11-16-18-19-20) appelées aussi pores sont des ouvertures généralement isodiamétriques et dans le cas où ils sont allongés, leurs terminaisons ne sont pas en angle aigu mais rondes; ceci est ce qui les diffère principalement des colpus. En outre, pour bien déterminer les deux types d'ouvertures FAEGRI et IVERSEN utilisent la relation longueur/largeur = 2/1 comme limite, même dans les cas douteux.

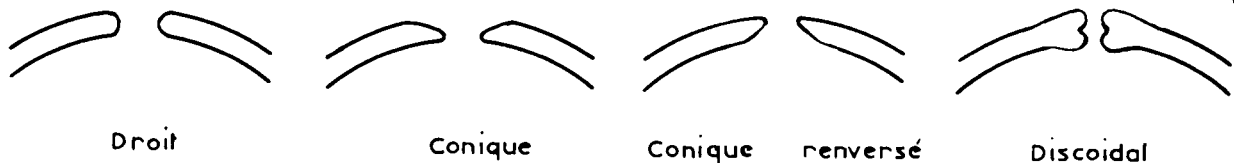
Les colpus de même que les porus ne communiquent pas directement avec l'extérieur du grain car ils sont couverts par une petite pellicule de l'exine, qui se rompt lorsque le tube pollinique sort; cette pellicule s'appelle operculum (fig. 16, A).

Quand les ouvertures appartiennent à des grains de structure intectate, elles sont sur l'endexine qui réduit son épaisseur et montre une diminution de taille

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES OUVERTURES DES GRAINS DE POLLEN



C - LES CANAUX DES PORES



BUS
LILLE

et de la densité chez les granules de la couche des columelles. Chez les grains à structure tectate, le tectum et l'endexine peuvent couvrir les ouvertures, (fig. 16), en formant une membrane mince, qui peut être lisse, granulée; dans certains cas, elle peut être aussi épaisse que le reste de la paroi du grain (128).

Si un grain de pollen a uniquement des porus, il s'appelle porate (fig. 17). S'il a seulement des colpus, il reçoit le nom de colpate (fig. 17). Mais si les porus et les colpus co-existent dans une même ouverture, le grain s'appelle colporate (fig. 17); selon le nombre de porus qui montre un grain, celui-ci peut être mono, bi-, tri-, tétra, penta-, hexa- ou multiporate. Les mêmes préfixes sont employés lorsqu'il s'agit de colpus ou d'ouvertures mixtes (fig. 17).

Chez les grains du type colpate, on trouve généralement un porus par colpus, néanmoins, parfois les colpus n'ont pas tous un porus (128); les colpus à porus sont destinés à la sortie du tube pollinique, tandis que ceux qui n'en ont pas sont utilisés exclusivement comme régulateurs du volume du grain; ces grains ci sont appelés hétérocolpate (fig. 17). Dans d'autres cas on trouve deux porus par colpus et le grain reçoit le nom de diploporate. Quand le colpus s'élargit autour du porus, la structure reçoit le nom de caverna et ses dimensions sont très diverses selon les espèces; une caverne peut être circonscrite si elle entoure complètement le porus ou sortante si elle ne l'entoure pas (fig. 18, B).

c.- détails de la constitution des ouvertures

Les porus forment parfois une chambre qui communique avec l'extérieur du grain : il s'agit du vestibulum (fig. 19) et les grains qui présentent cette formation font partie du type vestibulate.

D'autre part les tranchants des ouvertures peuvent présenter une bordure : dans ce cas on dit qu'elles sont bordées; dans le cas contraire (c'est-à-dire si l'exine ne montre aucune formation supplémentaire) on dit qu'elles sont simples ou non bordées (fig. 16).

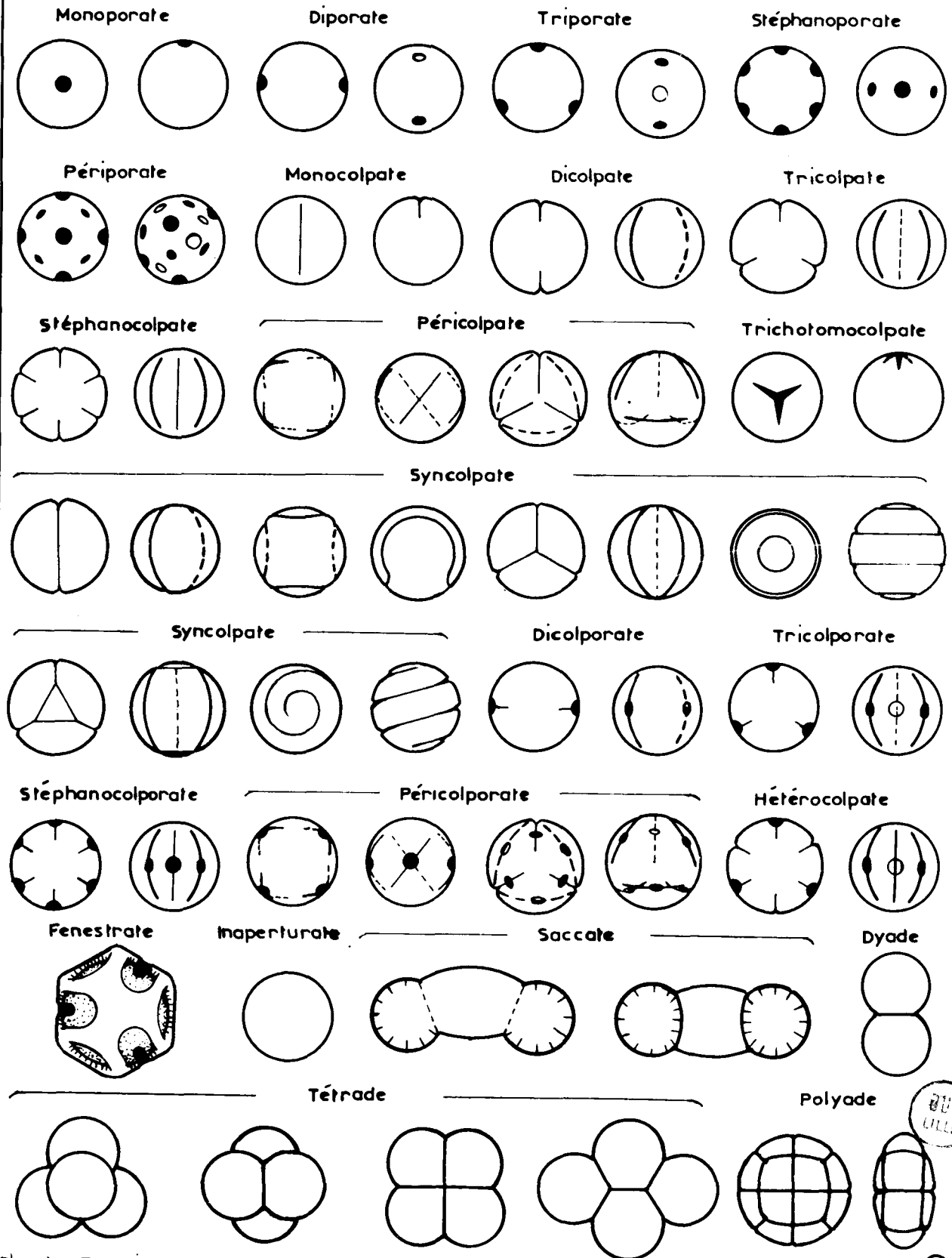
L'annulus est le bord annulaire d'un porus; mais quand une telle formation se situe autour d'un colpus, ce bord est appelé margo, L'annulus, en section transversale, peut présenter la forme d'une goutte ou d'une petite boule dirigée vers l'intérieur ou vers l'extérieur du porus : si le bord est un renflement cunéiforme de l'exine autour de l'orifice, il est appelé tumescence, par contre, si l'exine se projette vers l'extérieur sans changer d'épaisseur, il s'agit d'un labrum (258 a) (fig. 19, A).

Quelquefois, l'endexine présente à l'endroit des ouvertures des épaisissements qu'on a appelés costa et qui peuvent exister aussi bien dans le cas de colpus (colpus costa), si l'ouverture est un colpus, que dans celui de pore, (porus costa) (fig. 16, B).

Si nous coupons un grain de pollen porate transversalement à travers l'un de ses porus nous pourrions voir la disposition des couches de l'exine autour d'un canal (fig. 16, C). La longueur de ce canal est la distance entre son extrémité extérieure et la surface externe de l'intine; sa forme peut être très variée (fig. 16, C). On appelle endopore la partie du pore comprise exclusivement par l'endexine et exopore celle comprise par l'ectexine (fig. 19, D). Parfois, l'exopore et l'endopore coïncident mais dans certains cas, ils présentent un aspect différent : le grain est alors dit pororate.

Chez les grains du type vestibulate, le vestibulum peut se montrer d'aspects différents selon la structure de l'exine (fig. 19, B). Si le vestibulum se for-

LES PRINCIPAUX TYPES DE GRAINS DE POLLEN



D'après Faegri et Mersen, 1964.

205
LILL

me à travers d'éventuelles boursouflures de l'exine, vers l'extrémité externe du canal du pore il reçoit le nom de praevestibulum (fig. 19, D). On dit par contre qu'il s'agit d'un postvestibulum (fig. 19, B), si l'endexine se divise en deux couches, dont l'une reste unie à l'ectexine et dont l'autre se sépare en formant le vestibulum. Un atrium existe lorsque l'endopore est, au moins, trois fois plus grand que l'exopore. Dans le cas où l'endexine est divisée en deux couches qui forment une cavité derrière l'atrium, cette dernière reçoit le nom de postatrium (fig. 19, B).

Toutes les formations internes des pores c'est-à-dire, l'atrium, le vestibulum, etc... peuvent être combinées avec l'annulus, le labrum ou la tumescence (fig. 19).

L'exine peut se fendre le long des méridiens au niveau des pores et donner ainsi naissance aux formations suivantes (fig. 19) : incidence lorsque la fissure est peu développée, cuneus lorsqu'elle est assez prononcée et platea quand les fentes sont si développées qu'elles déterminent trois lobes distincts. Enfin l'espace produit par un décollement de l'ectexine et de l'endexine s'appelle le interloculum (fig. 19, D).

d.- la distribution des ouvertures

La distribution des porus et des colpus sur la surface du grain est très variée; généralement trois pores ou trois colpus se trouvent placés de manière équidistante le long de l'équateur du grain; lorsqu'il y en a plus de trois, ils se distribuent de la même façon; ces derniers grains sont dits stephanocolpates lorsque les ouvertures sont des colpus ou stephanoporate s'il s'agit de porus (fig. 17). La distribution des ouvertures le long de l'équateur n'est pas une règle générale; les grains ont parfois leurs ouvertures distribuées sur toute leur surface : ce sont alors des pancolpates ou panporates selon le type d'ouverture (fig. 20, B).

Chez les grains à contour équatorial triangulaire, les pores peuvent être équatoriaux ou subéquatoriaux; s'ils se trouvent placés sur les angles du triangle, le grain est dit angulaperturate, s'ils sont au milieu des côtés, planaperturate. Les grains à contour équatorial circulaire ou subcirculaire à trois pores s'appellent circumaperturates; dans le cas de grains à contour équatorial quadrangulaire ou multiangulaire à quatre pores ou plus, ceux-ci sont équatoriaux ou subéquatoriaux et généralement placés sur les angles (fig. 20, B).

Lorsque deux colpus (ou plus) forment des anneaux ou des spirales autour de tout le grain ou seulement d'une partie de celui-ci, on a un grain de pollen syncolpate (fig. 17).

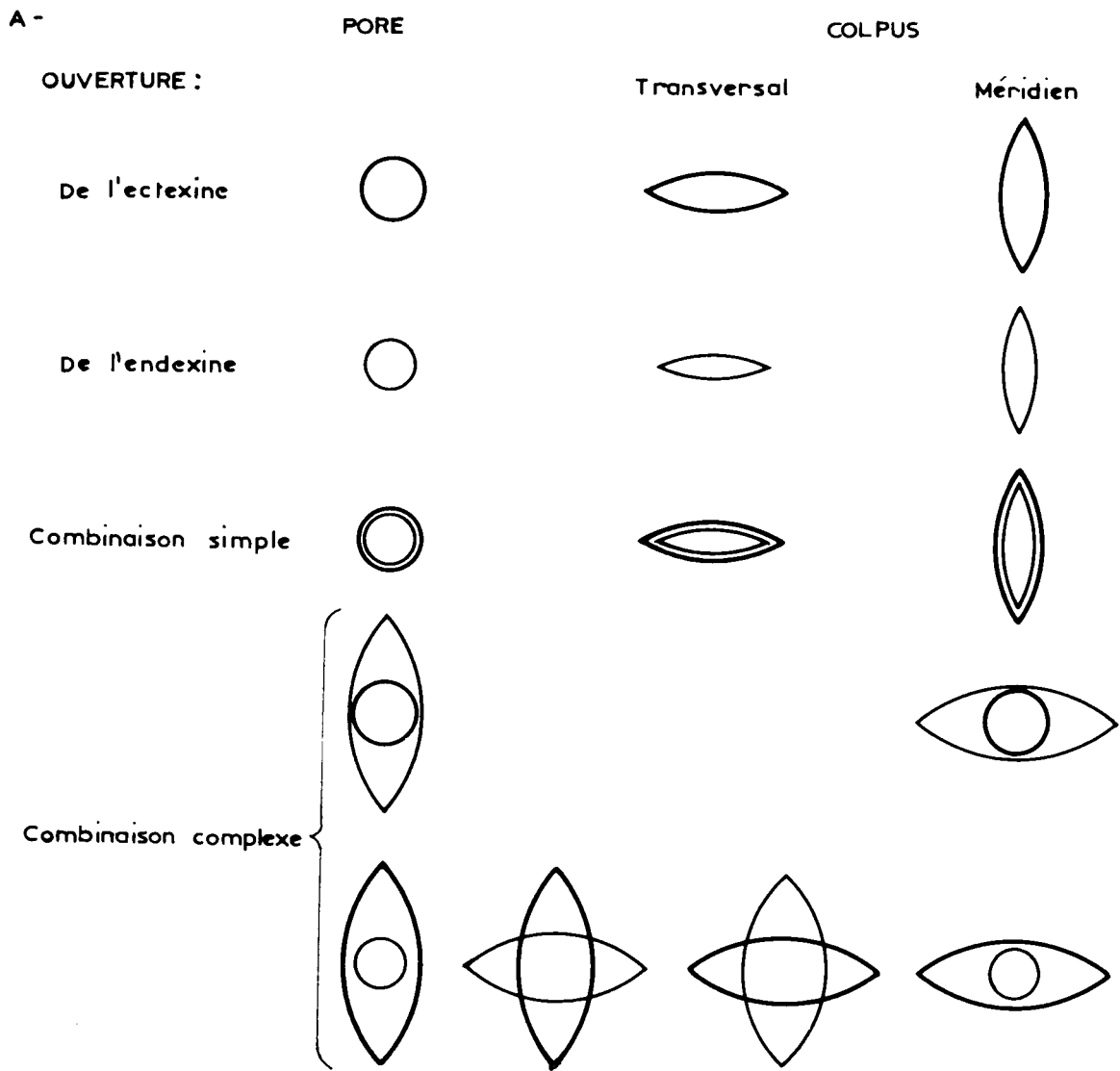
On appelle aire polaire d'un grain de pollen sa partie située à une latitude supérieure à celle de toutes les ouvertures (fig. 11, B). Lorsque les colpus sont convergents, ils peuvent aboutir dans une cavité polaire appelée cavium.

e.- la nature des ouvertures et la taxonomie

Les ouvertures chez les grains de pollen se présentent d'une manière différente selon qu'ils appartiennent à des Gymnospermes ou Angiospermes. Chez les Gymnospermes en effet elles sont moins différenciées (c'est-à-dire plus simples) que chez les Angiospermes.

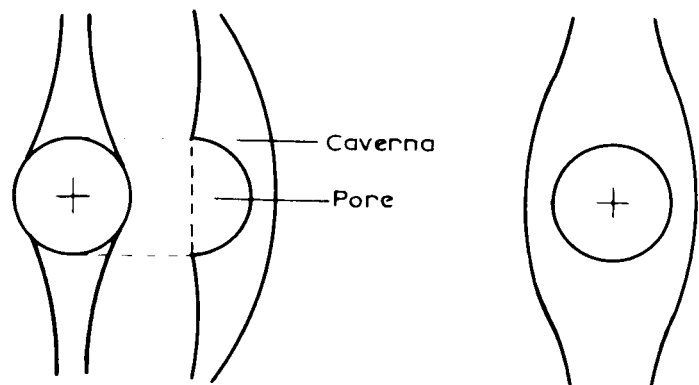
Chez les Gymnospermes et chez les Monocotylédones, les grains sont généralement du type : sulcate; chez les Dicotylédones, ils sont d'habitude tricol-

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES TYPES D'OUVERTURE



On ne connaît pas la totalité de ces combinaisons

B -



CAVERNA SORTANTE

CAVERNA CIRCONSCRITE



pate, triporate ou bien tricolporate. Chez les Monocotylédones, on trouve deux types principaux de grain; l'un, de forme sphérique, sans ouverture discernable et l'autre, de forme symétrique bilatérale et caractérisée par le fait d'avoir un colpus ou un porus.

Chez les Angiospermes comme chez les Gymnospermes le tube pollinique sert d'agent de germination : cependant, chez certaines Cycadales il sert comme agent de nutrition (haustorium d'après FELIX)

7- Homotypie et hétérotypie des grains de pollen

En général les grains de pollen des plantes de genres voisins sont plus ou moins du même type. Cependant il existe des exceptions très nettes qui nous montrent des types de grains très semblables chez des plantes appartenant à des genres très distincts (homotypie) et, au contraire, des types de grains très différents chez des plantes voisines (hétérotypie).

Parmi les Caryophyllacées en effet, les grains de pollen de la plupart des genres sont du type multiporate, néanmoins, ceux du genre Spergularia L. et de quelques autres de la famille présentent des grains tricolpates (12).

D'autre part les grains de pollen des genres Salix (Tourn.) L. et Adoxa L. sont très semblables et pourtant ils appartiennent à des familles très distinctes, les Salicacées et les Adoxacées (12)

Dans la plupart des genres la forme des grains de pollen est constante chez les différentes espèces. Néanmoins, chez certains genres il est très courant de trouver plus d'un type de pollen. Le genre Tulipa (Tourn.) L. (Liliacées) présente des caractéristiques florales constantes, mais chez certaines espèces les grains de pollen sont monocolpates, chez d'autres tricolpates (12).

L'hétérostylie est un des cas de variations du type de sexualité chez les plantes. Dans l'hétérostylie nous trouvons des individus d'une même espèce avec des fleurs longistyles (styles plus long que les étamines) et d'autre à fleurs brévistyles (styles plus courte que les étamines). GUINOCHEI cite comme exemple très particulier de la tristylie le cas du genre Lythrum L. (Lythracées) chez lequel on trouve des plantes à styles très courts, des plantes à styles moyens et des plantes à styles longs. FELIX fait remarquer que, chez l'espèce Lythrum salicaria de ce même genre, les individus à styles les plus longs produisent des grains de pollen à couleur verte et d'autres à couleur jaune.

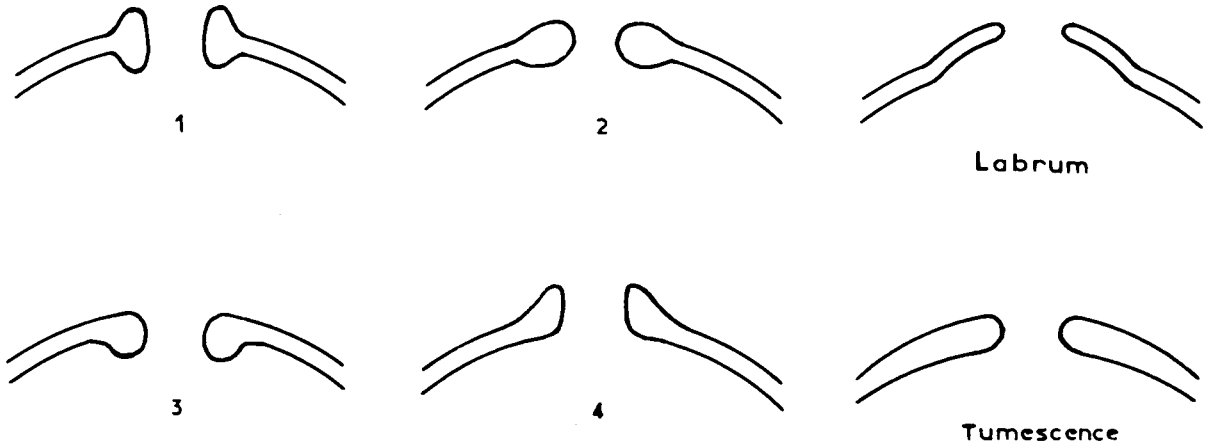
8- Production et dissémination du pollen

On a déjà dit que la pollinisation est le transport du pollen de l'étamine jusqu'aux stigmates du pistil ou jusqu'à l'ovule. Au moment de la pollinisation les fleurs peuvent être ouvertes (chasmogamie) ou bien fermées ce qui est moins fréquent (cleistogamie). Les plantes cléistogames sont obligatoirement hermaphrodites et elles s'autopollinisent; elles sont le plus souvent souterraines et le pollen n'a pas un transport externe. Chez les plantes chasmogames on trouve deux cas : l'autogamie quand la pollinisation du stigmate d'une fleur est assuré par son propre pollen et l'allogamie dont la pollinisation peut s'effectuer par le pollen des fleurs du même individu (gitonogamie) ou provenant des fleurs d'un autre individu de la même espèce (xénogamie) (147).

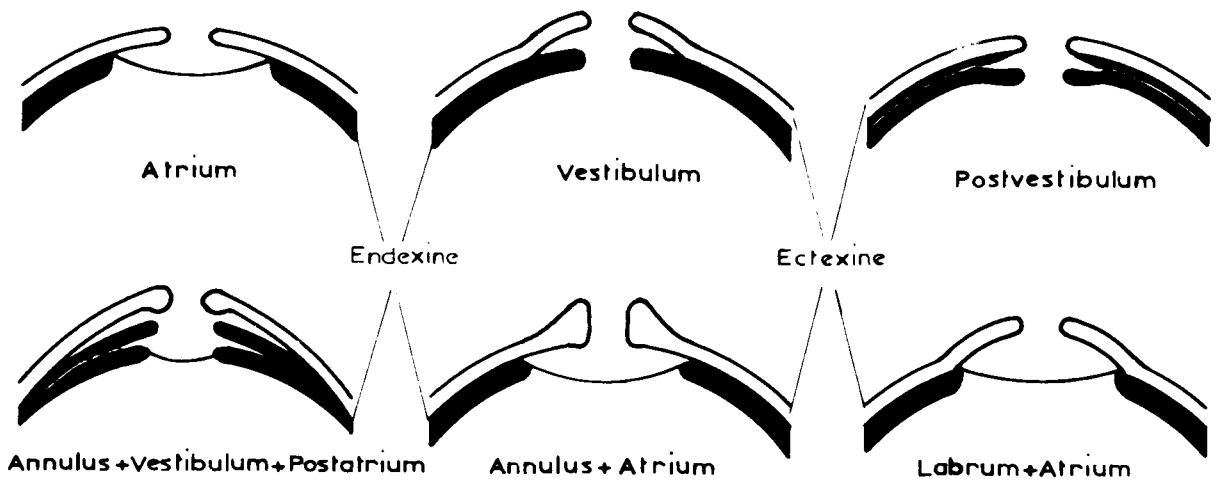
En dehors des cas de cleistogamie et d'autogamie directe, le pollen est transporté à l'extérieur de la fleur. Ce transport est effectué par les agents vecteurs du pollen. Selon le type de ces agents, la pollinisation peut être :

DIFFERENTS ASPECTS DES PORES ET DE LEURS CONSTITUANTS

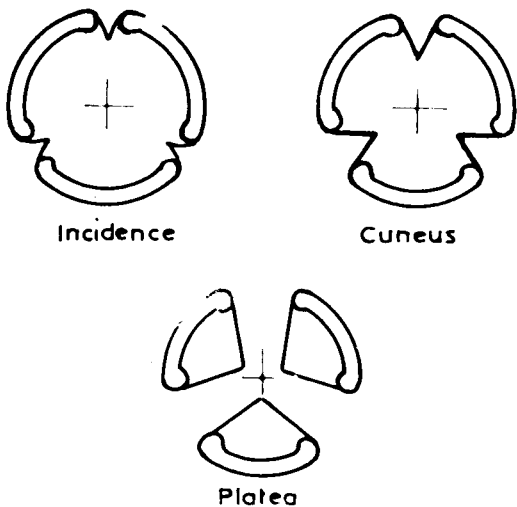
A - DIFFERENTES PRESENTATIONS DE L'ANNULUS, LABRUM ET TUMESCENCE



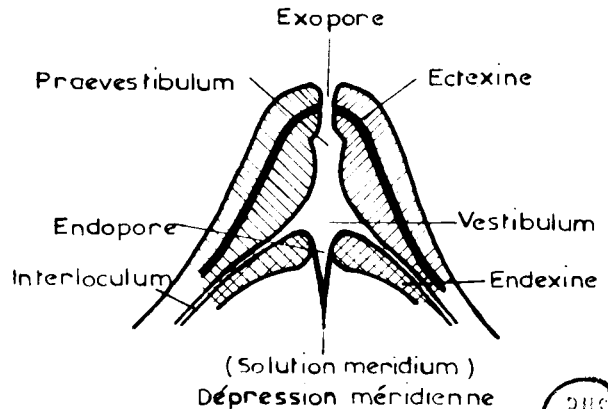
B - LES PRINCIPALES FORMATIONS (SIMPLES ET MIXTES)



C - DEVELOPPEMENT DU SOLUTION MERIDIUM



D - ELEMENTS DE STRUCTURE D'UN DES PORES D'UN GRAIN DE POLLEN BREVAXONE



a) anémophile si les graines du pollen sont transportées par l'air, b) hydrophile s'ils sont transportés par l'eau ou c) zoïdophile s'ils sont transportés par des animaux.

a.- pollinisation anémophile

En général, les plantes à pollinisation anémophile, comme les Coniférales, les Graminées, etc... sont de grands producteurs de pollen. Des observations précises et relativement récentes ont cependant montré que la quantité produite par les fleurs de ces végétaux n'est guère supérieure à celle qui est produite par les fleurs des plantes zoïdophiles, même quand on compare le nombre de grains de pollen avec celui des ovules qu'ils doivent féconder (147). La pollinisation anémophile s'effectue à peu près sur un dixième des plantes appartenant aux Phanérogames actuelles. Les grains de pollen de ces plantes ne sont pas colorés et généralement ils présentent une taille réduite et une paroi lisse.

Les espèces de plantes à pollinisation anémophile ont donné une grande partie du pollen déposé dans les bassins sédimentaires. En général elles produisent une grande quantité de grains par individu et parfois cette quantité est énorme; pourtant, seule une très petite quantité de ces grains accomplit sa fonction dans le cycle de la vie des plantes. Chez certaines espèces, dans l'anthere d'une étamine, on peut trouver jusqu'à 70 000 grains (132). Parmi les plus grands producteurs de pollen nous trouvons les arbres forestiers dont quelques uns produisent des millions et des millions de grains de pollen par saison.

Si nous comptons le nombre de grains de pollen qui se trouvent dans une anthere immédiatement avant sa déhiscence, et qu'après nous multiplions cette quantité par le nombre d'anthers par fleur, nous aurons la quantité de grains de pollen que contient celle-ci. Si nous multiplions celle-ci par le nombre de fleurs d'une inflorescence et finalement par le nombre d'inflorescences par individu, nous connaissons d'une façon approximative la quantité de grains que chaque individu d'une espèce donnée peut produire par an (ERDTMAN 1954). Selon cette méthode on sait qu'une fleur (strobile mâle) de Pinus nigra produit à peu près 1 480 000 grains de pollen et qu'une inflorescence contient 22 500 000 grains de pollen environ. Le pollen produit en 10 ans par rameau adulte de Pinus silvestris atteint l'énorme chiffre de 346 millions de grains, ce qui mène à 12 500 000 000 millions de grain par individu pendant le même temps (119 a).

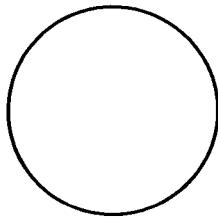
C'est à cause de cette énorme quantité de grains de pollen produite par les Pinacées que lorsque les étamines sont mûres au printemps, le vent soulève des nuages de pollen qui vont se déposer à certaine distance du bois; parfois la couche de pollen sur le sol atteint quelques centimètres et même décimètres. A cause de sa couleur jaune, le pollen de ces plantes ressemble beaucoup au soufre en fleur et c'est pour cela qu'on lui donne le nom de pluie de soufre. A Bordeaux, à une certaine distance des bois des Landes il est courant qu'après une pluie printanière, les grains de pollen se déposent sur le pavé des rues, en lui donnant une teinte jaunâtre (La vie des plantes - 146).

b.- pollinisation hydrophile

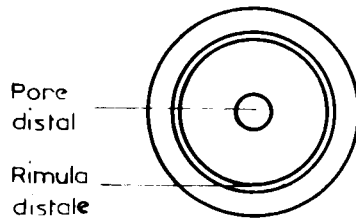
La pollinisation hydrophile est rare et ne s'effectue que chez certaines plantes aquatiques submergées. La pollinisation peut se réaliser dans l'eau ou à sa surface. Chez le Ceratophyllum demersum L. (Ceratophyllacées), le

LES OUVERTURES CHEZ LES GRAINS DE POLLEN

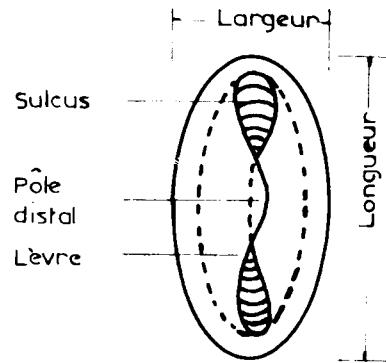
A - LES TYPES



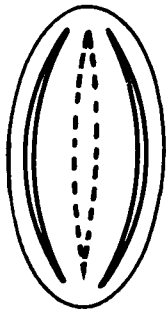
INAPERTURATE



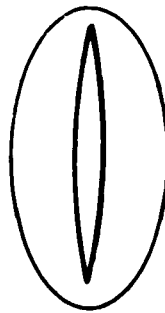
MONOPORATE



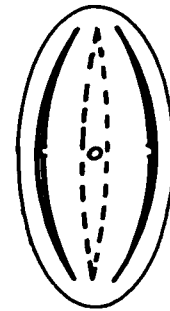
MONOSULCATE



TRICOLPATE

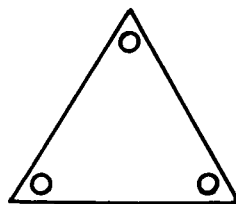
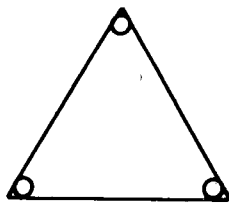


MONOCOLPATE

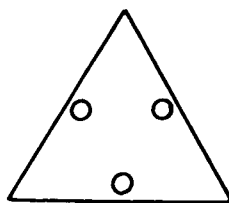
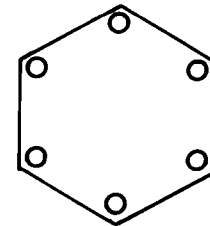


TRICOLPORATE

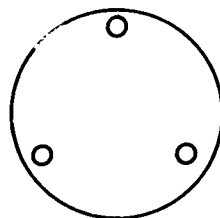
B - LEUR DISTRIBUTION



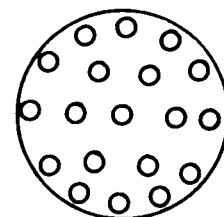
ANGULAPERTURATE



PLANAPERTURATE



CIRCUMAPERTURATE



PANAPERTURATE

BUS
LILLE

pollen a la même densité que l'eau dans laquelle la plante habite, ainsi les grains restent-ils en suspension au moment de la déhiscence de l'anthere et certains d'entre eux sont "capturés" par les stigmates. Chez le genre Ruppia L. (Potamoqétonacées), le pollen émis flotte sur l'eau, plus tard le pédoncule de l'inflorescence amène les fleurs jusqu'à la surface; après la pollinisation le pédoncule se contracte en s'enroulant en spirale et la maturation des graines se fait sous l'eau (147). Chez les plantes à pollinisation hydrophile, les grains de pollen, en général, n'ont pas d'exine.

c.- pollinisation zoïdophile

La pollinisation zoïdophile peut s'effectuer par différents types d'animaux. Chez les légumineuses elle peut être accomplie par certains chéiroptères comme les chauve-souris (chéiroptérophilie); mais elle peut aussi être accomplie par certains oiseaux comme les oiseaux-mouches chez quelques Bignoniacées (ornithophilie) ou bien par des escargots et limaces (malacophilie). Mais, en général, la pollinisation zoïdophile se réalise essentiellement par des insectes (entomophilie), principalement par les Diptères, Lepidoptères, et Hyménoptères. Ce type de pollinisation s'effectue dans presque les neuf dixièmes de la flore actuelle (147).

Le pollen de ce type de plantes a des couleurs très vives : les grains sont très petits, adhésifs et leur ectexine présente des protubérances et des trous de formes très variées (46). L'évolution et le domaine des Angiospermes coïncide avec l'augmentation du nombre des insectes ailés.

9- Distance de transport et dissémination du pollen dans les sédiments

La distance de transport du pollen est en rapport avec les agents vecteurs. Dans le cas de la pollinisation par exemple, la distance de transport est limitée au rayon de vol maximum des insectes, lequel varie selon les espèces.

a.- intérêt botanique

Du point de vue botanique, la pollinisation a un double intérêt:

C'est d'abord un intérêt purement théorique en relation avec l'évolution des espèces des plantes, ainsi que leur distribution géographique et c'est en deuxième lieu un intérêt pratique en relation avec la création des parcelles de sélection.

Dans le deuxième cas, par intermédiaire de méthodes radioactives, on étudie avec une grande précision la distance maximale de transport des grains de pollen de certaines espèces, en utilisant comme élément radioactif le phosphore, qui se trouve en appréciable quantité chez le pollen; on utilise le P 32 dans ce cas, car cet élément ne cause pas de dommage lors des radiations (147).

b.- intérêt géologique

L'intérêt géologique de la pollinisation est basé sur la dissémination du pollen dans les sédiments; les processus de la formation des roches sédimentaires (altération des roches préexistantes, transport des matériaux, dépôt, diagénèse, etc ...) contrôlent la préservation et la concentration du pol-

len dans les sédiments, tandis que le caractère de ceux-ci va déterminer les moyens de récupération et analyses des grains de pollen au laboratoire.

c.- les conditions de dépôt

Les conditions de dépôt des grains de pollen (et des spores) dans les sédiments sont en rapport avec la production brute du pollen, ses moyens de transports et la distance parcourue par les grains ainsi qu'avec le climat et la topographie des aires de production et dépôt du pollen.

1. La production du pollen est très variée selon les espèces. Les plus grandes productrices appartiennent aux plantes anémophiles et parmi celles-ci aux arbres forestiers. Ainsi, la fréquence d'un type de pollen dans une région dépend de l'espèce de la plante mère et de la fréquence de celle-ci dans l'ensemble de la végétation de la région.

2. Chez les plantes anémophiles, le transport des grains par l'air s'effectue facilement si les conditions de climat et de topographie sont propices. Beaucoup de grains sont emportés par l'air vers les régions plus hautes du continent par l'intermédiaire des courants chauds verticaux, ils peuvent y rester en suspension pendant plusieurs jours, des semaines ou des mois (119 a) avant de tomber sur le sol, où ils se déposent ou bien ils sont déplacés par les agents de l'érosion et retransportés pendant une période de temps très variée pour être enfin déposés, d'une façon définitive, avec des matériaux qui donneront après, un sédiment.

3. Des distances très grandes peuvent être parcourues par les grains de pollen transportés par l'air. ERDTMAN (1954) cite des exemples qui nous montrent que les grains de pollen de Picea et Pinus peuvent être transportés par l'air sur des distances de plus de 960 km. Il montre encore que les grains de pin et de sapin trouvés dans une tourbe du Groenland ont parcouru au moins une distance de 100 km, car il y a 100 km entre cette tourbière et le bois de conifères le plus proche de la presque île du Labrador. En général, d'après FAEGRI et IVERSEN (128) la distance de dispersion moyenne est de 48 à 96 km quand l'agent de transport est l'air. De plus grandes distances peuvent être parcourues dans des conditions spéciales, ce qui explique en partie la migration des espèces. Par contre d'après CLISBY et SEARS (1955), la dispersion du pollen du "pinon pine" dans les plaines de San Augustin dans le New Mexico, U.S.A., n'atteint que 9.6 km, celui du "ponderosa pine" près de 11.2 km, celui du "limber pine" 12.8 km et celui du sapin près de 16 km. D'autre part, des recherches faites sur la distance maximale de transport du pollen du maïs indien (*Zea mays*), en plusieurs endroits et en conditions topographiques et climatiques très différentes, on montré que cette distance est très réduite.

Même si l'on peut penser que la distribution du pollen par intermédiaire de l'air ou de l'eau est uniforme sur de grandes aires, des études réalisées sur des massifs de végétation nous montrent que la "pluie" de pollen change d'une façon brutale aux bords de ces massifs. D'après FAEGRI et IVERSEN (128) dans une région qui présente plusieurs zones boisées, l'incidence du pollen des plantes d'une zone boisée décline rapidement dans les 100, 200 à 300 mètres de distance de la limite entre deux zones; ensuite les valeurs se maintiennent stables sur une distance d'au moins 3 à 4 km. Ces variations se retrouvent dans les aires de transition entre sédiments continentaux et marins; cette notion est très utilisée par les géologues pétroliers pour délimiter les aires littorales qui sont généralement constituées par des sédiments qui peuvent contenir

de l'huile.

Les grains de pollen sont aussi transportés par l'eau, à la surface ou en suspension, jusqu'aux bassins de dépôt, ou bien ils peuvent tomber directement dans ces bassins quand ils sont transportés par l'air. Les études de MULLER (1959) sur les sédiments récents du delta de l'Orénoque au Venezuela ont montré la grande importance qu'à l'eau dans le transport du pollen (128).

4. Les conditions du climat et la topographie déterminent en partie, les aires de dépôt du pollen; le relief topographique et la température font que certains courants d'air sont plus forts dans certaines régions du continent (côtes des lacs et des mers, vallées, etc...) ce qui est favorable au dépôt du pollen en certaines régions. Dans certains cas, les sédiments peuvent contenir principalement grains de pollen et spores; ce type de sédiments est dit fimenite (128).

A cause des propriétés de la paroi des grains de pollen et des spores, ceux-ci peuvent se conserver facilement dans les sédiments et si les conditions sont favorables ils peuvent rester intacts pendant très longtemps. Néanmoins, certains sédiments sont plus favorables à cette conservation que d'autres. Le milieu du dépôt est un facteur qui joue un rôle très important dans cette conservation des spores et du pollen à l'intérieur des sédiments. Dans certaines tourbes très aérées les conditions de dépôt sont telles que les spores et les grains de pollen sont très corrodés : en général ces tourbes se forment au dessus du niveau de l'eau ou près des courants. Le PH du milieu de dépôt peut être favorable ou nuisible à la conservation de ces éléments reproducteurs puisque, comme il est bien connu, ils se conservent mieux dans un milieu acide (réducteur pauvre en oxygène) que dans un milieu alcalin, et ceci surtout à cause de la formation de bactéries et de champignons qui les altèrent.

Les facteurs diagénétiques des roches sédimentaires (biochimiques, cimentation, authigénèse, ségrégation, métasomatose, dissolution interne et compaction) ainsi que les effets tectoniques et métamorphiques qui sont susceptibles d'intervenir sont aussi la cause de la destruction des parois des grains de pollen et des spores : c'est le cas de la cristallisation ou la recristallisation des minéraux à l'intérieur des roches ainsi que de la température et de la pression quand elles sont à grandes profondeurs, qui sont suffisants pour détruire les éléments constitutifs de l'exine (15).

En principe tous les sédiments sont susceptibles de contenir des pollenspores puisque ceux-ci se déposent dans tous les milieux : marin, lagunaire, fluviatile, lacustre, continental, littoral, etc. Cependant comme BIARD (1963) fait remarquer, le facteur dominant est celui du faciès, c'est-à-dire, l'ensemble des caractères d'une roche qui dépendent de ses éléments constitutifs et des circonstances qui ont présidé à sa formation. Selon le faciès d'une roche sédimentaire, sa richesse en pollen et en spores sera différente. Les sédiments qui contiennent la plus grande quantité de ces éléments sont en ordre décroissant :

- 1- charbons
- 2- argiles, marnes schisteuses et marnes
- 3- évaporites et gisements de minéraux sédimentaires
- 4- grès et roches siliceuses
- 5- calcaires argileux et calcaires purs.

C.- DIFFERENCES ENTRE LES SPORES ET LE POLLEN

Après avoir décrit les principales caractéristiques des spores et des grains de pollen, il est nécessaire de montrer en forme de résumé les différences les plus importantes qu'on trouve entre ces deux groupes d'éléments reproducteurs. Elles peuvent être divisées en trois groupes :

1- Différences biologiques

Les spores sont des éléments reproducteurs asexués, puisqu'ils deviennent sexués seulement après la formation du prothalle, celui-ci peut être mâle, femelle ou bisexué. Par contre, les grains de pollen sont des éléments reproducteurs sexués, chez lesquels le tube pollinique a la valeur d'un prothalle mâle.

2- Différences concernant la fente germinale

Lorsque la marque de contact existe chez les spores, elle sert presque toujours de fissure germinale. Chez les grains de pollen, la marque de contact est très rare et, lorsqu'elle existe, elle n'a jamais une fonction germinative.

La fissure germinale est réelle chez les spores, tandis qu'elle correspond à un amincissement de la membrane chez les grains de pollen. Elle est simple et puisqu'elle correspond à la marque d'accolement de la spore, elle est en position proximale. Par contre, chez les grains de pollen elle est constituée par un appareil très évolué et elle peut être placée en position distale ou en diverses positions sur la paroi des grains mais rarement en position proximale.

3- Différences en composition et en structure de la paroi

Les spores et les grains de pollen des Gymnospermes ont une paroi de composition presque semblable mais elle est seulement un peu différente de celle des grains de pollen des Angiospermes (12).

La structure de la paroi des spores est différente de celle des grains de pollen. En effet, l'ectexine des grains de pollen est plus complexe en structure que celle des spores. En outre, chez les grains de pollen l'intine donne origine au tube pollinique, alors que chez les spores cette couche n'a pas la même fonction car le protoplasme s'étale directement en prothalle.

"... chaque géologue doit garder une vue globale des sciences de la Terre, connaître leurs progrès et faire appel pour son travail à la spécialité voisine. De plus, il doit pouvoir se convertir d'une spécialité à l'autre ... L'avenir appartient donc aux nations ou aux groupes qui auront su garder des cadres vivants, dotés de culture générale, doués de souplesse intellectuelle et d'une prompte possibilité de conversion. Ceci impose que les études secondaires et supérieures évitent la redoutable spécialisation précoce que, par paradoxe, beaucoup de personnes alarmées nous proposent à chaque printemps. Mais ceci impose que, le jour de la spécialisation venu, les "têtes bien faites" disposent des outils nécessaires".

Georges MILLOT

CHAPITRE TROISIEME

LES METHODES DE TRAVAIL

PLAN GENERAL DU CHAPITRE TROISIEME

I .- LA PREPARATION DES ECHANTILLONS EN
VUE DE LEUR ETUDE PALYNOLOGIQUE

A.- LA PHASE MECANIQUE

- 1- L'échantillonnage
 - a.- pollenospores actuels
 - b.- pollenospores fossiles
- 2- Préparation des échantillons

B.- LA PHASE CHIMIQUE

- 1- Le but
- 2- La contamination des échantillons
- 3- La quantité de la prise d'essai
- 4- Les méthodes chimiques
 - a.- préparation des pollenospores actuels
 - Acetolyse.-
 - Chloration.-
 - a 1- Matériel provenant d'herbiers
 - a 2- Pollen atmosphérique
 - a 3- Tourbes peu décomposées
 - a 4- Miels
 - b.- préparation des pollenospores fossiles
 - b 1- Gangue inorganique
 - Gangue calcaire.-
 - Gangue siliceuse.-
 - Gangue calcaro-siliceuse.-
 - Gangue saline.-

- b 2- Gangue organique (extraction des pollenospores des charbons).

La méthode bromonitrique de Zetzche et Kälin.-

La méthode chloronitrique de Schulze.-

- b 3- Gangue mixte

La méthode des ultrasons.-

- 5- La précision des analyses chimiques et la méthode à utiliser
6- La coloration des pollenospores
7- La conservation des préparations

II .- L'ETUDE QUALITATIVE ET L'ETUDE QUANTITATIVE

A.- LE MONTAGE DES PREPARATIONS

- 1- Le montage du matériel palynologique de petite taille
2- Le montage des macrospores

B.- L'ETUDE AU MICROSCOPE

- 1- Le microscope
2- L'étude palynologique d'une lame
3- Les photographies

C.- LES FICHES

D.- L'ETUDE QUALITATIVE

E.- L'ETUDE QUANTITATIVE

- 1- La fréquence absolue
2- La fréquence relative

F.- LA MENSURATION DES POLLENOSPORES

G.- LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

H.- L'INTERPRETATION DES DIAGRAMMES

LES METHODES DE TRAVAIL

Les techniques d'études employées sont différentes quand il s'agit d'un matériel fossile ou de formes actuelles. D'une manière générale, on y distingue cependant trois parties :

- 1) prélèvement des échantillons
- 2) leur traitement au laboratoire
- 3) leur étude qualitative et quantitative.

Les deux premières parties sont consacrées à la préparation des échantillons en vue de leur étude qualitative et quantitative. Il est nécessaire que chacune de ces trois étapes soient réalisées très soigneusement car de la précision des résultats obtenus dépend la validité de l'investigation.

I .- LA PREPARATION DES ECHANTILLONS EN VUE DE LEUR ETUDE PALYNOLOGIQUE

La préparation des échantillons est divisée en deux phases :

- une phase mécanique qui comprend le prélèvement, la préparation des échantillons.
- une phase chimique qui permettra d'extraire et de traiter le matériel palynologique de l'échantillon afin de faire son étude qualitative et quantitative.

A.- LA PHASE MECANIQUE

1- L'échantillonnage

a.- pollenospores actuels

Lorsqu'il s'agit d'étudier les spores et les grains de pollen des plantes actuelles, les échantillons sont pris directement dans les sporanges ou les sacs polliniques des plantes, soit à la campagne ou en herbier. Le matériel prélevé et placé sur un morceau de papier est réduit en poudre avec les doigts et gardé dans des pochettes sur lesquelles il faut indiquer la provenance, le numéro d'ordre de l'échantillon, etc... (273).

S'il s'agit de contrôler la quantité des pollenospores contenus dans l'air on place en différents endroits de la région en étude des stations de prélèvements : la station consiste d'un appareil constitué par 2 disques en acier inoxydable (ou en bois) parallèles d'un diamètre voisin de 25 cm, séparés par une distance de 11 à 13 cm et fixés l'un à l'autre par 3-4 colonnes métalliques réparties sur

leur périphérie (256,43). L'appareil est placé sur des pieux de deux à quatre mètres de hauteur. Au centre de l'appareil à 2,5 cm du disque de base, on place deux plaques en verre (lame porte-objets), sur des supports spéciaux, l'une en position horizontale et l'autre verticalement; la première couverte avec une couche de gélatine-glycérinée sur sa face supérieure, l'autre sur les deux faces. Ces lames sont exposées pendant un laps de temps précis (une ou deux semaines) puis elles sont remplacées par d'autres et cette opération se répète durant le temps désiré. Après leur prélèvement elles sont alors traitées au laboratoire pour extraire les pollenspores de la gélatine (153).

b.- pollenspores fossiles

Quand il s'agit d'étudier les pollenspores fossiles, le type de l'échantillonnage dépend du type de sédiment à l'intérieur duquel ces éléments se trouvent. Il faut noter que (281) :

1) les dépôts glaciaires ou fluvioglaciacaires ne contiennent presque jamais de pollenspores. Néanmoins, il faut s'assurer de leur absence.

2) les dépôts franchement marins, surtout des faciès profonds, ne contiennent pas de pollenspores ou en contiennent en quantité minime.

3) les dépôts littoraux et lagunaires peuvent contenir des pollenspores en quantité notable.

4) les dépôts continentaux contiennent d'habitude des pollenspores en quantité notable.

Quand cela est possible, il faut bien choisir l'endroit d'échantillonnage, en considérant la position des sédiments, leur degré d'altération, l'accessibilité de l'endroit etc... Lorsqu'on peut choisir parmi une série d'affleurements l'endroit d'échantillonnage d'un type de sédiments, celui-ci doit être choisi dans les sédiments argileux-charbonneux, avec de la matière végétale : ce sont en général des sédiments à teinte sombre. Il est nécessaire d'avoir présent à l'esprit qu'un bon échantillonnage doit fournir des échantillons purs, c'est-à-dire non contaminés, même si la méthode pour les obtenir n'est pas uniforme pour tous les chercheurs.

Lorsqu'il n'y a pas d'affleurements, les procédés mécaniques pour prélever les échantillons varient selon la profondeur du sédiment qui doit être étudié. Dans le cas de sédiments peu profonds, la prise des échantillons peut se faire par intermédiaire de tranchées ou de foreuses. Si les sédiments sont très profonds les méthodes classiques d'échantillonnages varient selon le type de machines employées pour la perforation (machines à percussion ou rotatives); les échantillons peuvent être pris parmi les matériaux remontés à la surface par la boue de perforation (cuttings) ou par des appareils spéciaux; ils peuvent encore être extraits par les appareils de sondage; carotiers, par exemple.

Les échantillons prélevés doivent dans tous les cas, représenter d'une façon fidèle, la section de sédiments d'où ils proviennent. Ainsi, pour y arriver il faut éviter par tous les moyens la pollution des échantillons. Quand les échantillons sont pris sur des affleurements, ils doivent être constitués par une quantité de matériel prise uniformément sur toute la hauteur de la section échantillonnée. Ceci est possible en découpant sur le profil exposé de l'affleurement un pilier de sédiment de largeur et de profondeur constante; l'échantillonnage doit se faire de bas en haut de la section afin d'éviter la pollution. Il faut préalablement bien nettoyer l'endroit et enlever la roche altérée. L'intervalle entre les échantillons à prélever sur une section de sédiments est en rapport avec la précision et le but de l'étude, mais il faut toujours se souvenir que la granu-

lométrie du matériel à échantillonner joue un rôle très important sur la composition des sédiments, ainsi la distance entre deux échantillons d'argile ou de matière argileuse doit être plus petite qu'entre deux échantillons de conglomérats.

Les échantillons les plus fidèles sont ceux qui comprennent une colonne complète de sédiment (un pilier ou une carotte); la taille de cette colonne dépend de la consistance du matériel. Sur ce type d'échantillons il est bon d'indiquer sa position dans le dépôt.

En ce qui concerne les charbons, le principe de l'échantillonnage est le même. Il faut prélever un pilier de charbon à base carrée (0,20 m de côté) du toit au mur de la veine ou de la passée en étude. On appelle veine toute couche de charbon possédant une ouverture suffisante pour permettre son exploitation, elle peut être constituée complètement par la matière charbonneuse ou bien se composer de plusieurs sillons d'épaisseur variable séparés par les intercalaires; on emploie ce terme pour désigner principalement les petits lits de schiste, de schiste charbonneux et même de charbon schisteux qui divisent une veine en plusieurs sillons. Est appelé passée tout dépôt de charbon dont l'ouverture est inférieure à la limite d'exploitation.

Dans la pratique, à cause de la fragilité du charbon, on fait un pilier sur la surface perpendiculairement au cours de la veine; les morceaux de charbon sont de taille plus ou moins grande selon la dureté du charbon. A l'intérieur de la mine, à cause des conditions de travail, il est nécessaire de consentir certaines irrégularités; cependant cette technique d'échantillonnage est valable.

Le nombre d'échantillons par veine ou passée ou série de sédiments dépend de la précision désirée dans l'étude. Lorsqu'on veut connaître l'évolution verticale de la composition palynologique d'une couche ou série de sédiments, il faut diviser la section en plusieurs échantillons, plus ou moins serrés selon la précision voulue. Dans le cas des charbons, on peut diviser la veine ou passée en échantillons de 20 ou 30 cm; néanmoins il est préférable, quand cela est possible, de prendre les échantillons d'une façon systématique en divisant le pilier de charbon selon ses divisions naturelles (intercalaires) en plusieurs sillons. Ces sillons peuvent avoir une constitution pétrographique différente (éclat différent des bandes de charbon, différence de dureté, ou de fracture, etc...) La constitution distincte de ces couches, ainsi que celle des intercalaires est amenée par des modifications de conditions écologiques produites par changement des conditions de dépôt des éléments qui constituent le charbon. Par échantillonnage fractionné, on arrive à étudier d'une manière très précise l'évolution palynologique, dans le sens vertical et horizontal, d'une couche de charbon sur de grandes extensions ce qui permet d'employer ces résultats dans l'étude des corrélations.

Lorsque l'étude palynologique doit se faire en dépôt d'évaporites, de manganèse, de kaolin, etc... les méthodes d'échantillonnages sont semblables.

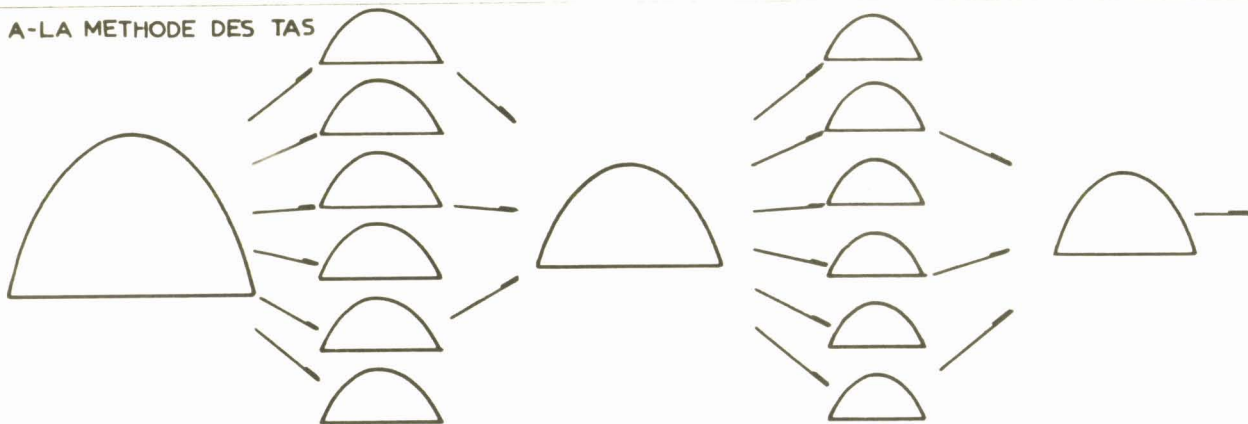
Tous les échantillons après leur prélèvement doivent être bien protégés et numérotés. Sur le livre de notes, il faut décrire l'affleurement, l'endroit précis de l'échantillonnage, ainsi que les caractéristiques principales de l'échantillon. Un schéma du pilier (ou de la carotte) est très utile.

2- La préparation des échantillons

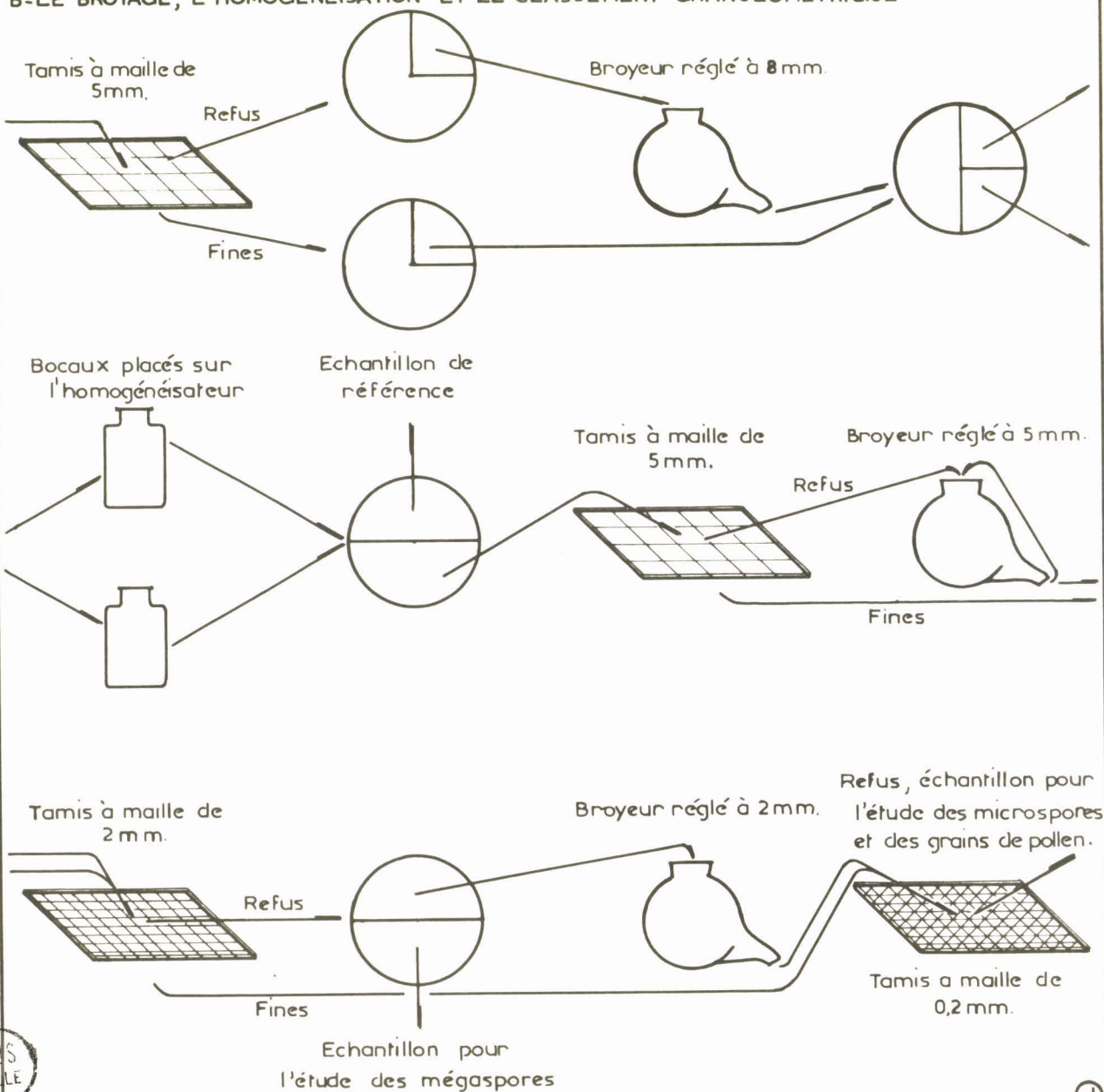
Après ce prélèvement les échantillons doivent être préparés aux attaques chimiques qu'ils subiront par la suite, afin d'extraire le matériel palyno-

PREPARATION DES ECHANTILLONS EN VUE DE LEUR ATTAQUE CHIMIQUE

A-LA METHODE DES TAS



B-LE BROYAGE, L'HOMOGENEISATION ET LE CLASSEMENT GRANULOMETRIQUE



logique. La préparation de ces échantillons consiste essentiellement en un broyage suivi d'homogénéisation du matériel afin d'obtenir une granulométrie convenable qui permettrait aux produits chimiques de réagir rapidement et uniformément.

Le volume de l'échantillon prélevé est en rapport avec les dimensions du pilier extrait du sédiment échantillonné. Lorsque l'échantillon est très volumineux, il est souhaitable de réduire son volume : pour ceci il faut broyer le matériel, l'homogénéiser et le réduire par la méthode de tas (fig. 21, A).

Au début il faut casser les gros morceaux avec un marteau. Ensuite à l'aide d'un broyeur, on réduit la taille des grains jusqu'à ce que tous ces grains passent à travers un tamis à maille de 5 mm. Puis on place ce matériel sur un autre tamis à maille de 2 mm; la partie qui reste sur le tamis est homogénéisée et divisée selon son volume en plusieurs tas, dont l'un servira comme témoin et un autre pour l'étude des mégaspores s'il est nécessaire. (fig. 21, B).

Pour l'étude des microspores et grains de pollen on utilisera le matériel à grains à taille inférieure de 2 mm de diamètre, celui-ci est placé sur un troisième tamis à mailles de 0,2 mm, le matériel qui reste sur le tamis aura une taille comprise entre 0,2 mm et 2 mm et sera employée pour en extraire les microspores et les grains de pollen.

B.- LA PHASE CHIMIQUE

1- Le but

Le but de cette phase est d'obtenir à partir de n'importe quel type d'échantillon, la plus grande quantité de matériel palynologique dans les meilleures conditions pour son étude qualitative et quantitative.

a.- Lorsque l'investigation doit se faire sur l'étude des palynomorphes fossiles ou sur le pollen du miel, l'extraction de ces éléments comprend deux phases :

1- l'élimination de la partie minérale de l'échantillon ou gangue quand il s'agit de palynomorphes englobés dans des sédiments, du sucre dans le cas de pollenospores englobés dans du miel.

2- le traitement du matériel palynologique extrait afin de le rendre accessible à l'étude qualitative et quantitative.

b.- Si l'étude se fait sur les pollenospores actuels, la première phase (élimination de la matière qui englobe les éléments) n'existe pas; le chercheur se limite donc exclusivement à la deuxième partie.

2- La contamination des échantillons

J'ai déjà fait remarquer qu'il faut faire très attention lors de l'échantillonnage afin d'éviter au maximum les contaminations possibles des échantillons par d'autres sédiments qui pourraient leur apporter d'autres pollenospores fossiles. Ceci est très important car on ne connaît pas encore de méthode adéquate pour déceler les pollenospores fossiles secondairement apportés à un échantillon, et ceci surtout si les dits pollenospores appartiennent à des sédiments très voisins dans le temps et dans l'espace de ceux où ont été prélevés les échantillons de références. Néanmoins si les pollenospores de contamination appartiennent à des sédiments assez distincts dans le temps, il est peut-être possible de les déceler grâce à la méthode de l'autofluorescence des pollenospores décrite par Van Gijzel en 1963 (135).

La contamination des échantillons, provenant de sédiments plus anciens que l'Holocène, par des pollenospores actuels arrive plus souvent qu'on ne le pense et c'est un fait à prendre toujours en considération lorsqu'on fait des études palynologiques. Le pollen atmosphérique, principalement, contamine non seulement l'endroit d'échantillonnage, mais aussi les instruments et les outils de travail au laboratoire. C'est pourquoi il serait souhaitable de faire un contrôle de l'air du laboratoire d'une manière périodique, afin de connaître la composition qualitative et quantitative du pollen atmosphérique durant les différentes périodes de l'année. Ainsi, lorsqu'on fait la préparation des échantillons au laboratoire, il faut toujours noter la date de préparation afin de pouvoir savoir lors de l'étude quantitative et qualitative des échantillons, si certains grains douteux appartiennent ou non au pollen actuel. Parfois, la contamination s'effectue lors du montage des lames; dans ce cas précis les grains de pollen actuels présentent d'habitude une membrane et des ouvertures en très bon état de conservation, leur protoplasme d'autre part est resté à l'intérieur. Ces caractéristiques peuvent être utilisées pour leur identification.

3- La quantité de la prise d'essai

Lorsqu'il s'agit de l'extraction de pollenospores fossiles, la quantité de l'échantillon à attaquer est un facteur qui est en fonction du faciès du sédiment. En effet, la quantité de pollenospores par gramme de roche dépend de la nature de ses éléments constitutants et des circonstances qui ont précédé sa formation. C'est ainsi que dans le cas des tourbes, on utilise des échantillons dont le poids varie entre 0,1 g et quelques grammes; pour les charbons (lignite, houilles de plus de 25% de matières volatiles), on prélève entre 1 et 10 g, pour les argiles entre 15 et 20 g, pour les marnes entre 20 et 25 g, pour les grès 50 g, pour les sédiments calcaires plus de 40 g et, enfin, pour les sels plus de 250 g.

Lorsqu'on a affaire à des échantillons mixtes, la quantité de sédiments à traiter chimiquement doit être calculée d'après le type de roche et de teneur approximative en matières calcaires, en matières siliceuses et en matières organiques principalement, éventuellement de sa teneur en sel. Néanmoins, les méthodes pour traiter chaque type de roche sont très variées et chacune demande une quantité fixe d'échantillon calculée au préalable.


4- Les méthodes chimiques

Les méthodes d'attaque des échantillons ont pour but d'éliminer la matière qui enrobe les pollenospores afin de les rendre accessibles à l'étude qualitative et quantitative.

Ces méthodes diffèrent principalement selon l'âge des pollenospores à dégager et la gangue à enlever. C'est ainsi que les méthodes sont essentiellement différentes pour le cas des pollenospores actuels ou fossiles. Dans le premier cas, le problème se pose principalement pour le traitement du matériel palynologique, puisqu'en principe il n'y a pas de gangue (sauf, bien sûr, dans le cas des miels). Dans le second cas, le principal problème réside dans l'enlèvement des différents matériaux qui enrobent les pollenospores. Ces substances peuvent être de type organique ou inorganique, sans oublier le type mixte. Parmi les sédiments à ciment ou gangue organique, nous avons principalement les tourbes, les lignites et les houilles; parmi les sédiments à ciment ou gangue inorganique, nous avons les

PREPARATION DES SPORES ET GRAINS DE POLLEN ACTUELS

A- ELIMINATION DU CONTENU PROTOPLASMIQUE




9 parties de $(CH_3CO)_2O$ +
1 partie de H_2SO_4
-à chaud 5-10 mn.-

Spores ou grains de pollen

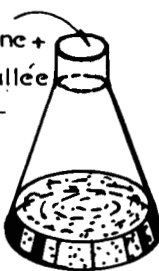
Laver plusieurs fois par centrifugation.

B - CHLORATION



ClO_3K + 1cc. HNO_3 +
qq. gouttes HCl

Plusieurs lavages par centrifugation




1 partie de glycérine +
1 partie de eau distillée
- 10 mn. -

Centrifugation

D'après E.Nakoman, 1966

**EXTRACTION DES SPORES ET GRAINS DE POLLEN CONTENUS DANS LES STERILES
— ELIMINATION DE LA PARTIE MINERALE —**

C- ELIMINATION DES CARBONATES




HCl Concentré 150 cc.
- 24 h -

Stérile 20 g.

Lavage par décantation


D-ELIMINATION DES PRODUITS SILICATES



HF Concentré 150 cc.

4-5 jours

Lavages par centrifugation



HCl à chaud 150cc.

30 mn.

Lavages par centrifugation à chaud.

D'après R.Coquel, S.Loboziak et E.Nakoman, 1965



roches calcaires, les roches siliceuses, les sels; enfin, il y a encore toute une variété de roches mixtes qui vont des marnes (roches essentiellement à mixture inorganique) aux charbons argileux ou aux argiles charbonneuses (à mixture inorganique et organique).

Voyons les méthodes les plus utilisées :

a.- préparation des pollenospores actuels

On utilise la méthode décrite par G. ERDTMAN en 1937. Elle est constituée par deux étapes.: l'acétolyse proprement dite et la chloration. Le but de la première opération est de vider les pollenospores de leur contenu protoplasmique, celui de la seconde est de les éclaircir afin de pouvoir distinguer les deux couches de leur exine; néanmoins, comme ils gonflent, leurs mensurations après cette phase ne sont pas valables.

Acétolyse. - Le matériel palynologique est mis dans un mélange de 9 dixièmes d'anhydride acétique et 1 dixième d'acide sulfurique concentré (fig. 22, A) et on chauffe au bain-marie pendant 5 à 10 minutes. Après agitation, on centrifuge pendant 3 minutes à 1500 tours/mn maximum. Le culot noir alors obtenu est lavé à l'eau distillée et on le tamise à 0,5 mm afin d'éliminer les grosses particules. Le filtrat est séparé en deux parties dont l'une servira à la mensuration immédiate des grains et tandis que l'autre subira la deuxième étape.

Chloration. - La partie du filtrat est attaquée avec 1 cc d'acide nitrique concentré et quelques gouttes d'acide chlorhydrique pur, auquel on ajoute une très faible quantité de chlorate de potassium (fig. 22, B). La réaction dégage du chlore naissant qui éclaircit et verdit la solution; on centrifuge après 1 à 3 minutes d'attaque.

Après on mélange les deux sortes de grains, (ceux qui ont subi l'acétolyse uniquement et ceux qui ont subi l'acétolyse et la chloration) dans de l'eau glycinée pendant 10 minutes. Puis, par intermédiaire de plusieurs centrifugations, on récupère les pollenospores qui seront prêts pour leur étude après montage. Cette méthode sert à la préparation du matériel palynologique provenant des herbiers ainsi que du matériel provenant des plaques utilisées dans la récolte du matériel atmosphérique ou bien encore, dans certains cas, de celui provenant de tourbières peu décomposées. Pourtant, pour appliquer cette méthode, il faut auparavant préparer les échantillons; certains échantillons doivent subir la dissolution de la gangue ou bien être préparés à l'attaque définitive.

a 1- Matériel provenant d'herbiers

Le matériel provenant d'herbiers est mis dans de petits tubes contenant de l'acide acétique pur cristallisable où il peut être gardé pendant plusieurs jours même plusieurs mois en attendant la préparation définitive. Lorsque celle-ci doit être faite, le matériel contenu dans les tubes est versé dans des godets de centrifugation et l'on décante l'acide acétique pur cristallisable; après on passe à l'attaque du mélange acétolysant d'ERDTMAN.

Certains auteurs préfèrent monter les pollenospores sans les attaquer par le mélange d'ERDTMAN, pour ne pas les vider de leur contenu protoplasmique, opération qui, évidemment déforme les individus. C'est ainsi que MAURIZIO et

LOUVEAUX, en 1960, préparent le pollen de référence pour leurs études de méli-sopalynologie de la façon suivante : les anthères de la plante fraîche sont coupées et déposées sur lame et, au moyen d'une goutte d'éther sulfurique, on en extrait le pollen; on élimine les restes d'anthères avec de fines pinces; puis, on lave le pollen à l'éther plusieurs fois sur la lame jusqu'à disparition de toute substance grasse; on monte enfin le pollen dans de la gélatine glycinée non colorée.

D'autres auteurs préfèrent réhydrater les sacs polliniques; pour cela ils placent ces derniers dans de l'eau amoniacquée durant un temps de 1 à 3 jours. Les anthères gonflent et elles sont ensuite ouvertes à l'aide d'une lancette sous la loupe binoculaire. Cette méthode est déconseillée quand l'on veut mesurer les grains, car ceux-ci gonflent également. Les grains dégagés de cette façon peuvent subir ensuite l'attaque au mélange d'ERDTMAN.

a 2- Pollen atmosphérique

Le pollen atmosphérique récolté à l'aide de plaques en verre couvertes d'une couche de gélatine glycinée est récupéré par l'opération suivante : les plaques sont bouillies dans l'eau pour dissoudre la gélatine glycinée et pouvoir ainsi, par centrifugation, obtenir le matériel palynologique qui subira après l'attaque par le mélange d'ERDTMAN.

a 3- Tourbes peu décomposées

On prend 0,1 g de tourbe poudreuse desséchée et on la mélange dans un tube de centrifugeuse avec 6 cc d'acide acétique pur cristallisable. Après avoir ajouté 1 cc d'acide sulfurique à 80% et 3,5 cc d'une solution de chlorate de sodium à 33%, on chauffe le tube au bain-marie à 80° C; au bout de quelques minutes, on centrifuge et on décante, puis on lave le résidu 2 à 3 fois à l'eau distillée et une fois à l'acide acétique pur cristallisable. Après décantation, on passe à l'attaque par le mélange d'ERDTMAN pendant 2 ou 3 minutes dans un bain-marie légèrement bouillant.

a 4- Miels

Pour le miel qui est un excellent milieu de conservation, il est possible de travailler sur du matériel frais. Les méthodes de préparation du miel sont variées et elles diffèrent de celles utilisées par les géologues dans la préparation des roches; elles sont facilement réalisables et proportionnent sans difficulté de bons exemplaires pour le matériel d'étude. Le processus est constitué par 4 étapes qui sont : la dissolution du sucre; la récupération du matériel insoluble par centrifugation; l'attaque par le mélange d'ERDTMAN et enfin la dissolution de la cire et des substances similaires. Pour cette opération, on dissout donc 50 gr de miel dans 100 cc d'eau chaude distillée puis on centrifuge à 3000 tours/mn pendant 10 minutes. Le culot est lavé à l'eau et ensuite avec de l'acide acétique pur cristallisable. Le résidu est placé dans le mélange d'ERDTMAN; lorsqu'il arrive à ébullition, on centrifuge et on décante avec de l'eau distillée. Le résidu est utilisé pour le montage des lames. Pour MAURIZIO et LOUVEAUX, la préparation se termine lors de la première centrifugation; le culot est prélevé et déposé sur une lame, séché et inclus dans de la gélatine glycinée et recouvert d'une lamelle.

b.- préparation des pollenospores fossiles

Nous verrons ici les principales méthodes utilisées dans l'extraction des pollenospores d'échantillons à gangue inorganique premièrement et à gangue organique deuxièmement.

b 1- Gangue inorganique

Les principaux types de gangue inorganique sont :

Gangue calcaire.- Les carbonates les plus communs dans les sédiments sont ceux de calcium et de magnésium; ils peuvent être éliminés avec de l'acide chlorhydrique ou de l'acide nitrique. Le procédé le plus courant consiste en une attaque à l'acide chlorhydrique. L'échantillon de 20 à 40 g est attaqué par 150 cc d'acide chlorhydrique dilué (entre 10 et 50%) à froid, puis à l'acide chlorhydrique concentré et enfin s'il s'avère nécessaire avec le même acide à chaud pour éliminer complètement les carbonates. Si l'on veut éviter une forte effervescence, on peut ajouter quelques gouttes d'alcool à 90°. On termine avec plusieurs lavages, d'abord par décantations après par centrifugations.

Dans le cas des dolomies, il faut utiliser l'acide chlorhydrique à chaud dilué, puis concentré et finalement on fait des lavages par décantation et centrifugation à l'eau distillée.

Dans les deux cas précédents, le temps d'attaque peut durer entre 1 heure et 1 jour, en fonction de la concentration de l'acide et de la température à laquelle on fait l'attaque. Si l'échantillon contient de la matière organique, il faut ensuite utiliser la liqueur de Schulze.

Gangue siliceuse.- Dans ce cas il faut toujours faire d'abord un petit essai pour s'assurer de l'absence de carbonates.

La gangue siliceuse peut être constituée par de la silice ou par des silicates. Le procédé est le suivant : la quantité d'échantillon utilisée varie de 10 g pour les argiles à 50 g pour les grès. L'échantillon est versé dans un bœcher en polyéthylène. L'attaque se fait à l'acide fluorhydrique concentré dans une proportion voisine de 150 cc d'acide par 20 g d'échantillon; l'attaque se fait d'abord à froid, pendant un temps qui varie entre 1 à 5 jours; si l'on veut une attaque rapide, il faut travailler à chaud pendant 10 à 20 minutes au bain-marie, mais il faut toujours utiliser des gants et un masque à gaz car les vapeurs de HF sont très mauvaises pour la peau, les yeux et les poumons.

Si l'on a affaire à des roches siliceuses avec de la matière organique, la méthode décrite par BIARD en 1963 (27) est très avantageuse pour les 2 raisons suivantes :

1) la réaction se fait à chaud car l'action fortement exothermique de l'eau oxygénée sur la matière organique fournit les calories nécessaires, diminuant nettement par là, même la durée de l'attaque (30 minutes).

2) deux opérations sont ainsi réunies en une seule. A l'action de l'acide fluorhydrique (160 cc à 65%), on ajoute l'action de l'eau oxygénée (80 cc à 130 vol.). La réaction est très violente et il faut au début asperger à l'eau avec une pissette.

Pour les argiles il existe 2 méthodes simples mais effectives. La première a été décrite par DIJKSTRA en 1951. Elle nécessite 20 g d'argile sèche et préa-

lablement broyée au mortier. On fait bouillir auparavant une solution de carbonate de sodium dans l'eau (15 g de cristaux dans 500 cc d'eau) dans laquelle on ajoute alors l'argile et on laisse bouillir l'ensemble pendant 1 quart d'heure. Il reste un résidu qui, après lavage (et tamisage à 200 microns selon le type d'organisme à étudier), montre des pollenspores. Il faut les séparer et les concentrer à la liqueur dense (densité comprise entre 1,8 à 2), par exemple un mélange de bromoforme et d'alcool. L'opération peut être répétée plusieurs fois si cela s'avère nécessaire.

DELCOURT et SPRUMONT, en 1955, décrivent une autre méthode aussi simple: dans un verre à pied rempli aux trois quart, on jette l'argile broyée au mortier et on ajoute quelques gouttes d'une solution de silicate de soude; on mélange bien et on laisse reposer 15 mn. On ajoute ensuite quelques gouttes d'une solution de savon et on insuffle dans le liquide, au moyen d'un tube de verre, l'air des poumons; les bulles ainsi produites ramènent à la surface, des pollenspores qui se déposent sur les parois du verre.

Gangue calcaro-siliceuse. - Si l'échantillon à étudier est calcaro-siliceux, il faut procéder d'abord à sa décalcification, car la calcite en présence d'acide fluorhydrique amène rapidement à la formation de fluorite et d'autres fluorures insolubles. La décalcification est faite en utilisant la méthode déjà décrite. On utilise pour cela un becher en polyéthylène.

La méthode utilisée au Laboratoire de Palynologie de la Faculté des Sciences de Lille (fig. 22, C et D) demande 20 g de sédiment broyé (à granulométrie inférieure à 2 mm). L'attaque se fait avec 150 cc de HCl concentré pendant 24 h. Après lavage par décantation ou par centrifugation, on procède à l'élimination de la silice et des silicates par l'action de 150 cc de HF concentré à froid pendant 4 à 5 jours ou à chaud pendant 2 h. Le résidu est lavé par centrifugation en utilisant des godets en plastiques. Afin d'éliminer un voile blanchâtre constitué de fluorosilicates, on place le culot dans un becher en polyéthylène avec 150 cc de HCl concentré. On chauffe au bain-marie durant 30 minutes. Ensuite on lave par centrifugations à l'eau chaude de manière à maintenir les fluorosilicates en solution; la centrifugation se répète 4 à 5 fois à 2000t/mn et ceci pendant une minute.

Si l'échantillon contient de la matière organique, il faut alors attaquer le culot par la méthode de Schulze mais, dans ce cas, avec une liqueur moins puissante (2 g de $KClO_3$ + 40 cc de HNO_3 à 20° B pendant 6 min.).

Gangue saline. - Le chlorure de sodium et le chlorure double de sodium et de magnésium sont facilement solubles dans l'eau chaude. Les sulfates sont plus résistants; néanmoins l'anhydrite s'élimine avec de la potasse à chaud. On place 250 g au moins de l'échantillon dans un becher de 2 litres et on fait bouillir dans de l'eau afin de dissoudre le sel et un peu le gypse. Puis on décante et le résidu obtenu qui peut contenir de l'anhydrite, du gypse, de la matière organique et même certains minéraux argileux, est mis en ébullition dans une quantité double de potasse à 50% pendant une heure. On décante encore une fois. Le Ph est rétabli. Au résidu obtenu, on ajoute une quantité double de HCl pendant 15 mn. On procède à un nouveau lavage, et, enfin, les microorganismes sont séparés des matières minérales restantes à l'aide d'une liqueur dense (chlorure de zinc).

b 2- Gangue organique (extraction des pollenospores des charbons)

Les principaux types de gangue de caractère organique sont constitués par les celluloses, la lignine, la cutine, la subérine, les résines et les cires.

Les celluloses et la lignine se trouvent surtout dans les tourbes, les lignites et les houilles. Les autres substances organiques ont une résistance chimique très grande et elles peuvent être retrouvées dans d'autres sédiments. Les substances humiques et bitumineuses se rencontrent aussi à l'état fossile.

Les celluloses sont facilement hydrolisables dans les acides et donnent du glucose soluble dans l'eau; par contre, les lignines qui ne sont pas très hydrolisables sont détruites par les oxydants, principalement par l'eau oxygénée et la liqueur de Schulze. Ces deux oxydants sont les plus utilisés dans les attaques chimiques en vue de l'extraction des pollenospores englobés dans la matière organique, car même une action assez prolongée ne détruit pas l'exine (27). La subérine, les résines et les cires sont facilement dissoutes dans la potasse ou dans les solvants organiques. La cutine, par contre, est si résistante aux acides forts qu'elle est difficilement éliminable. Les substances humiques sont solubles dans des réactifs alcalins (soude ou potasse), quant aux substances bitumineuses elles sont solubles dans les solvants organiques.

Extraction des pollenospores des charbons.

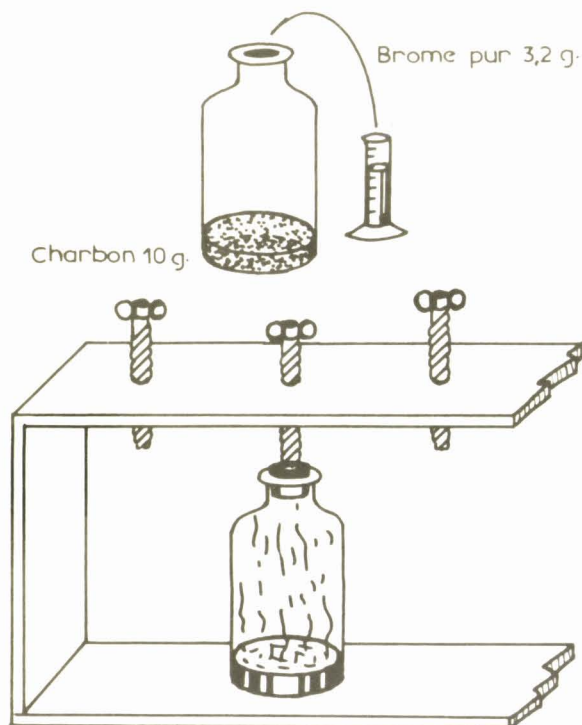
Les méthodes varient en fonction du type de charbon, du degré de houillification et du but poursuivi; c'est ainsi que les méthodes d'attaque varient non seulement lorsqu'il s'agit de lignites ou de houilles, mais également pour l'extraction de la microflore de plus de 0,2 mm ou de celle de taille inférieure à cette limite.

Pour les houilles, il existe 2 méthodes principales : la méthode de ZETZSCHE et KALIN surtout applicable pour l'extraction des macrospores et celle de SCHULZE pour la microflore de moins de 0,2 mm. Il faut souligner que ni l'une ni l'autre des deux méthodes n'est utilisable pour des houilles dont la teneur en matières volatiles est inférieure à 20%. En effet, la microflore n'est alors plus isolable et il faut donc recourir à la roche encaissante. Dans un charbon à moins de 20% de M. V. il y a généralement des microfossiles souvent détériorés. Le vitrain qui les contient est presque aussi résistant à la destruction chimique que la sporopollenine; c'est pourquoi il est difficile d'extraire les pollenospores, car les deux milieux présentent presque les mêmes propriétés chimiques.

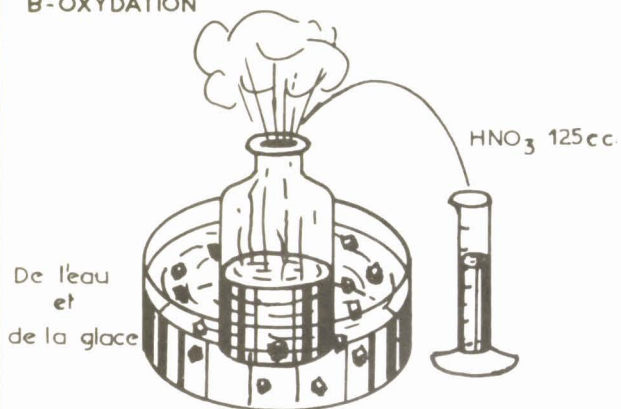
La teneur en matière volatile (M. V.) est différente pour les divers types de charbon; c'est ainsi que les lignites ont une teneur plus élevée que les houilles. D'ailleurs, selon l'âge, les charbons ont un degré de houillification plus ou moins grand; ce degré est fonction de la perte de M. V.. Plus un charbon est jeune, plus il a de M. V.. Néanmoins, certains charbons ont souffert des phénomènes thermo-dynamiques qui leur ont permis de se houillifier plus rapidement. On en trouve un exemple avec le charbon qui a été étudié pour la réalisation de cette thèse : provenant du Bassin Houiller de Sabinas au Mexique, il devrait, à cause de son âge (Maestrichtien), être du lignite, mais il a souffert de phénomènes secondaires qui l'ont transformé en houille à coke et même en anthracite.

LA METHODE DE ZETZSCHE ET KÁLIN

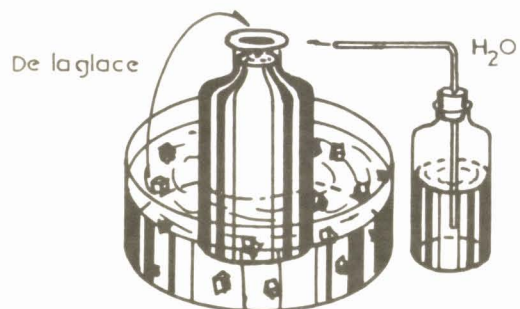
A-BROMURATION



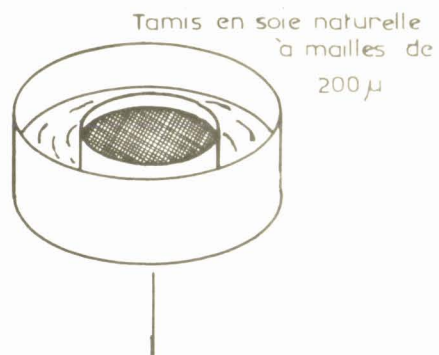
B-OXYDATION



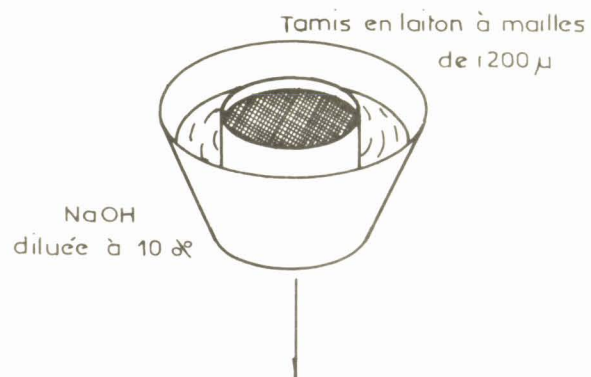
C-NEUTRALISATION



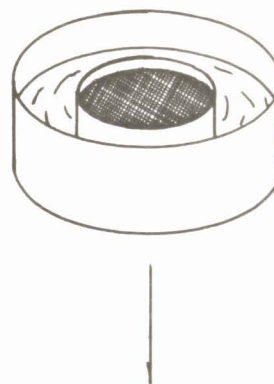
D-1er LAVAGE



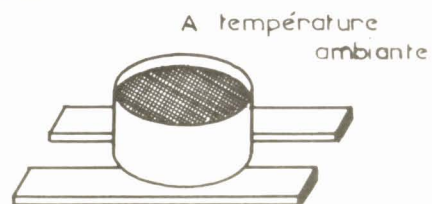
E-DISPERSION DES MATIERES HUMIQUES



F-2e LAVAGE



G-SECHAGE



La durée de l'oxydation d'un charbon en vue de sa macération est proportionnelle à la quantité de M. V. qu'il contient. Plus elle est élevée, plus la durée d'oxydation doit être courte, car la teneur en oxygène est plus grande.

Avant de passer aux attaques chimiques, on fait la séparation des matières minérales que l'échantillon pourrait contenir, à l'aide de l'éther (densité = 1.5); ces matières se déposent au fond du récipient utilisé.

Voyons les deux méthodes principales :

La méthode bromonitrique de ZETZSCHE et KALIN.-
1932. Cette méthode, utilisée principalement pour l'extraction des macrospores, nous permet aussi de recueillir, si l'on veut, les pollenospores de moins de 0,2 mm (fig. 23, A-G). Elle comprend plusieurs étapes :

- Bromuration.- Cette première étape a pour but de saturer les valences libres de sporopollenine avec du brome, afin de lui donner une grande résistance à l'oxydation : pour cela, 10 g de charbon à granulométrie comprise entre 2 - 5 mm sont placés dans un flacon de 1 litre à bouchon hermétique en verre et on y ajoute 3,2 cc de brome pur. Le flacon doit être bien propre et sec, car la présence d'eau peut provoquer une oxydation partielle du charbon. Une fois fermé, le flacon est placé en position verticale dans une armature en bois, afin de bien bloquer les bouchons à l'aide de vis disposées sur la planche supérieure. Cette opération est nécessaire par le fait qu'au cours de la substitution des valences libres de la sporopollenine par le brome, il y a un dégagement d'hydrogène qui donne avec le brome de l'acide bromhydrique (reconnaisable à la formation de fumées rouges) qui exerce une forte pression à l'intérieur du flacon.

Certains auteurs, considèrent que cette opération est parfois inutile; cependant, pour certains charbons, elle s'avère indispensable car elle facilite l'extraction des pollenospores. D'autre part, les macérations sans bromuration occasionnent parfois une abondance d'amas recouverts d'impuretés de couleur rouille. Ces amas peuvent tromper le palynologiste surtout s'il s'agit de l'étude de petites formes qui restent ainsi agglutinées aux impuretés.

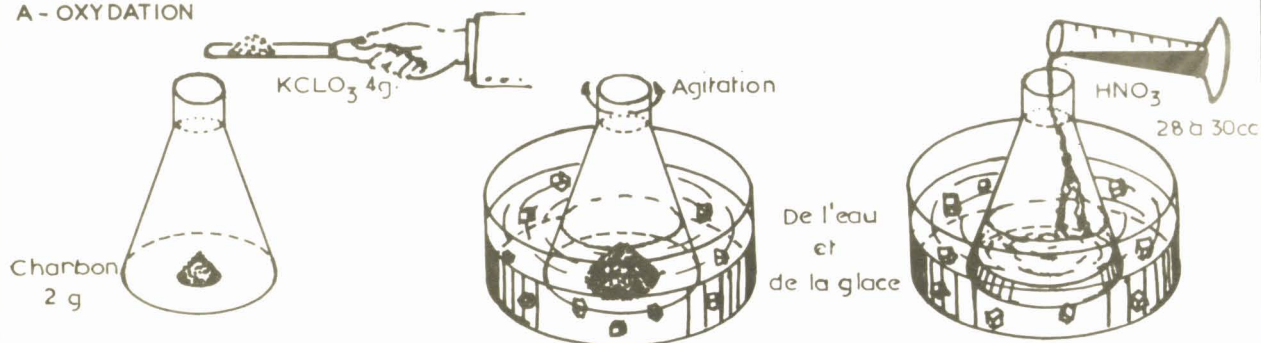
La durée de la bromuration ne doit pas être longue : 12 à 18 heures suffisent. Dans le cas de charbons très compacts à très haut degré de houillification, l'opération peut être prolongée de quelques heures si cela est nécessaire (parfois jusqu'à 41 heures) car le caractère compact des morceaux empêche la pénétration rapide du brome. Après cette halogénéation, le flacon est ouvert et couché horizontalement pour chasser les vapeurs d'acide bromhydrique formées.

- Oxydation.- L'oxydation de l'échantillon est faite avec 125 cc d'acide nitrique concentré. La réaction qui est hydrothermique nécessite un refroidissement continu du flacon; pour cela celui-ci est placé dans une cuvette contenant de l'eau et de la glace. Les premiers centimètres cubes d'acide doivent être versés lentement afin d'amorcer la réaction et de temps en temps, on ajoute des cubes de glace dans le flacon. Pourtant, il ne faut pas verser le reste de l'acide trop lentement car on risque d'avoir de grosses particules charbonneuses recouvertes de cendres qui peuvent rendre difficile la détermination des spores.

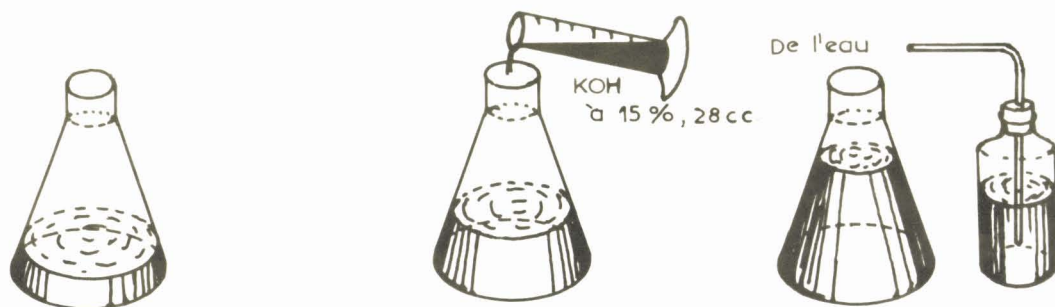
La durée de cette opération doit être courte et elle ne doit pas dépasser une demi-heure pour une halogénéation de 17 h; si celle-ci a été plus longue, l'oxydation peut dépasser une demi-heure.

LA METHODE DE SCHULZE

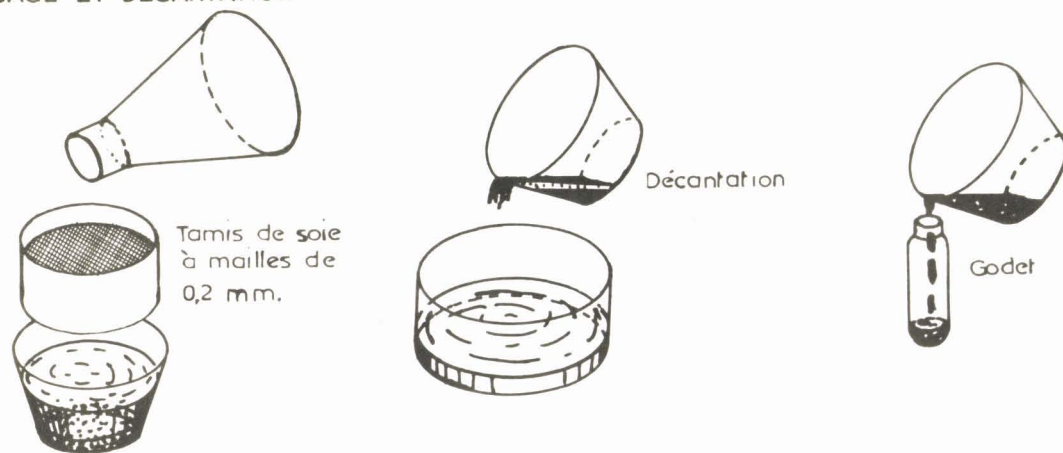
A - OXYDATION



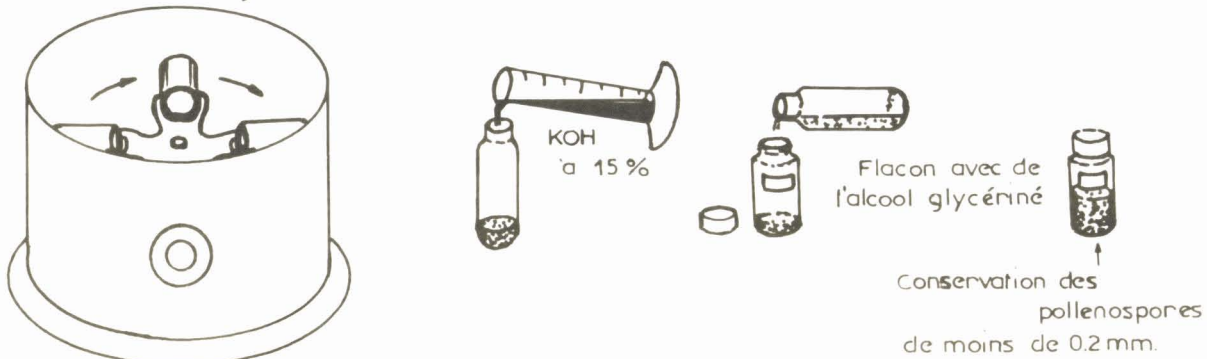
B-ATTAQUE ET NEUTRALISATION



C-TAMISAGE ET DECANTATION



D-CENTRIFUGATION, DISSOCIATION DES MATIERES HUMIQUES, LAVAGE ET CONSERVATION



BUS LILLE

- Neutralisation .- Après l'oxydation, on ajoute des cubes de glace dans le flacon pour neutraliser partiellement la préparation et débarrasser les pollenospores de leur gangue charbonneuse. Cette réaction, étant exothermique, demande une opération lente afin d'éviter une forte production d'écume et de mousse. On ajoute de l'eau pour diluer et neutraliser définitivement la préparation (ph 7).

- Lavage et dispersion des matières humiques .- Le contenu du flacon est lavé sur un tamis de soie naturelle à mailles de 0,2 mm que l'on plonge, en l'agitant, dans un bassin jusqu'à ce que l'écume disparaisse et que l'eau du bassin, renouvelée d'une manière continue, deviennent claire. Si l'on veut récupérer les microspores, il faut conserver le filtrat de cette opération et faire à part les mêmes opérations que celles qui suivent.

Le résidu est alors transféré sur un tamis en laiton de mêmes mailles, puis plongé dans un bain de soude dilué à 10%. Ce bain durant 10 minutes est destiné à disperser les matières humiques. On lave ensuite une seconde fois.

- Le séchage .- Sur le tamis subsistent alors les macrospores et des débris végétaux. Ce refus est séché à la température ambiante, puis placé dans un pilulier et ainsi il est prêt à l'étude.

En utilisant cette méthode on a généralement des spores en très bon état, propres et bien dégagées; néanmoins il arrive qu'elles s'agglutinent. Il faut alors les baigner dans de la pyridine pendant un jour et ensuite les laver à l'alcool avant d'être à nouveau plongées dans la potasse pendant 2 à 4 heures.

Cette méthode permet l'attaque de séries de 6 à 8 échantillons à la fois. Comme les vapeurs de brome sont dangereuses, il faut travailler avec des gants en caoutchouc et un masque (surtout durant l'été).

La méthode chloronitrique de SCHULZE.- Cette méthode, créée en 1855, fut d'abord destinée aux investigations pétrographiques, mais rapidement après appliquée dans les recherches paléobotaniques pour l'étude des charbons, domaine où elle a pleinement réussi. Elle concerne seulement l'extraction de la microflore qui est plus résistante à une oxydation très violente que les organismes de grande taille. Elle comprend plusieurs étapes (fig. 24, A-D) :

- Chloration et oxydation .- Après avoir séparé la matière minérale de l'échantillon à l'aide d'éther ou d'un mélange benzène-tétrachlorure de carbone on recueille la partie organique qui est séchée. On y prélève 2 g de granulométrie comprise entre 0,2 et 2 mm, que l'on place dans un erlenmeyer sec de 500 cc. On y ajoute 4 g de chlorure de potassium, soigneusement réduit en poudre en roulant une barre de verre sur un papier, et on mélange parfaitement. L'erlenmeyer est placé dans une cuvette contenant de l'eau et de la glace.

L'oxydation se fait avec 28 à 30 cc d'acide nitrique fumant (densité = 1,52) que l'on verse avec précaution et très lentement en faisant glisser les gouttes sur le bord du col de l'erlenmeyer ou bien à l'aide d'une barre de verre; il faut en effet éviter une réaction trop forte qui pourrait produire trop de chaleur et brûler le charbon. Avec l'oxydation, se fait simultanément la stabilisation de la sporopollenine; il y a un dégagement d'oxygène.

La durée d'attaque varie selon le type du charbon à traiter : il peut varier entre 15 mn et 5 heures (pour le charbon mexicain du Bassin houiller de Sabinas, il a fallu 35 à 45 minutes); en général la réaction est terminée lorsque la solution prend une couleur brune noirâtre et qu'il n'y a plus de gros grains.

- Neutralisation, tamisage et décantation .- Afin de neutraliser la solution, on ajoute 28 cc de potasse à 15%, puis de l'eau pour la diluer. On passe ensuite cette solution à travers un tamis de soie naturelle à mailles de 0,2 mm et le filtrat est recueilli dans une coupe où on le laisse décanter pendant quelques heures. Le résidu avec les pollenospores se dépose au fond. Après un tamisage, il est décanté et le résidu est recueilli dans des godets.

- Centrifugation, dissolution des matières humiques, lavage et conservation .- Les godets sont alors placés dans la centrifugeuse et on les fait tourner 2 à 3 minutes à 1500-2000 t/mn. Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que l'eau surmontant le culot, après chaque arrêt de la machine, soit claire. On ajoute alors de la potasse à 15% afin de dissocier les matières humiques et on recommence le lavage par plusieurs centrifugations. Le dernier culot est mis dans un petit flacon dûment étiqueté et l'on ajoute de l'alcool glycérolé en vue de la conservation (80% d'alcool et 20% de glycérine). La préparation est ainsi prête à l'étude.

Cette même méthode est également utilisée pour l'attaque des lignites; néanmoins, il faut alors tenir compte de quelques observations (6, 258 a). Les lignites ont en effet une teneur en matières volatiles plus grande que celle des houilles; ils doivent donc être traités avec une liqueur moins énergique et pendant moins de temps. En général la quantité de $KClO_3$ ne doit pas dépasser 50% de la quantité de lignite. La durée d'attaque ne doit pas dépasser une demi-heure. On utilise un acide nitrique de densité égale à 1,28 et la quantité nécessaire pour attaquer 10 g de roche est de 10 à 15 cc.

Parfois il faut effectuer l'attaque à la température ambiante et on profite ainsi de la chaleur dégagée au cours de l'oxydation pour accélérer la marche de l'opération; dans ce cas la durée de l'oxydation est réduite à quelques minutes. Il faut éviter, si possible, l'oxydation atmosphérique des échantillons en les protégeant avec des sacs en plastique.

Après l'oxydation, on fait une décantation durant 3 heures en utilisant de l'eau froide (1 à 2 litres) afin de diminuer l'acidité. Lors de la dissociation des matières humiques, la solution de potasse ne doit pas dépasser 5%; l'opération se termine à l'apparition d'une couleur brunâtre. En chauffant, on peut accélérer cette réaction, qui ne doit pas durer plus de 4 minutes car on risque alors d'abimer les pollenospores.

b 3- Gangue mixte

Dans le cas d'une gangue mixte, la meilleure façon d'extraire les pollenospores, est de connaître d'abord, grâce à quelques essais, les types de gangue présente dans l'échantillon afin de pouvoir l'attaquer avec les réactifs correspondants. Ces réactifs (et principalement les oxydants) doivent s'appliquer dans l'ordre suivant : d'abord l'acide chlorhydrique pour éliminer les carbonates, ensuite l'acide fluorhydrique pour éliminer les silicates et la silice et enfin l'acide nitrique, la liqueur de Schulze et la potasse afin d'éliminer la matière organique. Nous avons déjà vu, dans les paragraphes précédents la façon d'agir dans chacun des cas.

La méthode des ultrasons .- Afin de dissocier simplement les phases minérales et organiques des échantillons, sans avoir affaire à la disparition d'une d'elles, il existe une méthode qui utilise l'action des ultrasons sur l'échantillon préalablement broyé et soumis à l'acide chlorhydrique; les fréquences utilisées sont bien déterminées et les pollenospores, du

fait des vibrations, se débarrassent de leur gangue minérale (112).

5- La précision des analyses chimiques et la méthode à utiliser

Après avoir vu quelques méthodes chimiques pour extraire les pollenspores des différents types de sédiments, il faut souligner qu'il n'y a pas de méthode idéale; toutes les techniques présentent des inconvénients qu'il faut réduire. En fonction du type de l'échantillon étudié, la méthode choisie peut varier dans les détails. Les facteurs principaux susceptibles d'être mis en jeu sont (27) : la durée de l'attaque des réactifs pour chaque acide, leurs proportions et la façon de faire l'attaque. La meilleure manière d'arriver à trouver la technique la plus efficace pour un échantillon quelconque est d'attaquer cet échantillon plusieurs fois par différentes méthodes; c'est ainsi qu'on pourra choisir la méthode qui pourrait nous donner la plus grande quantité de pollenspores dans le meilleur état de conservation.

Pourtant, il semble que l'influence personnelle de l'opérateur joue un rôle prépondérant lorsqu'il s'agit des attaques chimiques. L'expérience faite en 1964 dans onze laboratoires en Europe occidentale et un laboratoire aux Etats Unis d'Amérique nous montre l'importance de la manière dont on réalise les attaques chimiques (178). Pour cela chaque laboratoire a reçu une quantité similaire de 8 échantillons d'une argile placée entre le Silurien et le Permien. Chaque laboratoire a utilisé sa propre technique pour chacun des échantillons. Les résultats furent très divers et aucun laboratoire n'a réussi avec tous les échantillons. Néanmoins, il y a eu des techniques qui se révélèrent supérieures à la moyenne (méthode de Schulze classique ou combinée avec des ultrasons). Pourtant, la même méthode appliquée par différents laboratoires a donné, en plusieurs cas, des résultats très différents. La plupart du temps le stade critique de l'attaque a été l'oxydation et la difficulté d'arrêter cette réaction au point optimum. Il faut aussi remarquer que des méthodes identiques appliquées par des techniciens différents ne donnent pas des résultats identiques pour un même échantillon, ce qui montre que, parfois, le technicien lui-même présente une influence très importante dans les résultats.

6- La coloration des pollenspores

Lorsqu'il s'agit de l'étude des pollenspores actuels, il s'avère parfois nécessaire de les colorer avant le montage; leur exine en effet se présente très clairement au microscope, ce qui empêche de bien observer leurs caractéristiques germinatives, structurales et morphologiques. Les pollenspores fossiles apparaissent le plus souvent avec une teinte variant du jaune clair au brun rougeâtre et même presque au noir; ils n'ont donc presque jamais besoin d'être colorés.

Les colorants utilisés sont très nombreux et, parmi eux, les plus employés sont la fuschine, le bleu de méthylène et la safranine.

7- La conservation des préparations

Lorsque la phase chimique est terminée, il faut garder les pollenspores dans de petits flacons. En ce qui concerne les macrospores, elles doivent être conservées à sec dans des piluliers; quant aux pollenspores de petite taille, ils sont gardés dans de l'alcool pur ou bien dans de l'alcool glycéric (80% d'alcool et 20% de glycérine), de préférence d'ailleurs dans ce dernier

mélange afin de pouvoir bien homogénéiser le matériel palynologique avec la gélatine glycérimée lors du montage sur lames; l'alcool pur en effet déshydrate la gélatine et empêche une bonne homogénéisation.

II .- L 'ETUDE QUALITATIVE ET L 'ETUDE QUANTITATIVE

A.- LE MONTAGE DES PREPARATIONS

1- Le montage du matériel palynologique de petite taille

Le montage du matériel palynologique de petite taille (moins de 0,2 mm de diamètre) se fait entre lame et lamelle dans un milieu composé de gélatine glycérimée, de Baume du Canada ou bien d'autres produits semblables. L'utilisation de la gélatine glycérimée à l'avantage de donner des préparations claires, et rapidement faites, mais aussi l'inconvénient de donner des préparations qui ne conservent pas longtemps en bon état; au bout de quelques années la préparation s'altère et devient instable.

La préparation de la gélatine glycérimée est la suivante : on mélange 50 à 60 g de gélatine avec de l'eau distillée et on laisse gonfler pendant 2 heures au bain-marie; on ajoute alors ensuite 150 à 200 cc de glycérine. Le mélange est porté à ébullition 2 à 3 minutes et vidé dans un flacon sombre de préférence, pour protéger le produit de l'action de la lumière. On doit ajouter avant l'ébullition 1,25 à 2 g de phénol comme antiseptique, afin d'éviter la floculation qui apparaîtrait si on l'ajoutait après. La préparation de la gélatine doit être faite très attentivement car une trop grande proportion de glycérine donne un milieu de montage trop fluide et les pollenospores peuvent changer de position.

Le montage s'effectue sur une lame bien propre : on y dispose 1,2 ou 3 gouttes d'alcool contenant en suspension les pollenospores du flacon auxquelles on ajoute un petit cube de gélatine glycérimée. On chauffe entre 70° C et 80° C sur une platine et lorsque la gélatine est fondue, on mélange avec une lancette ou avec une aiguille montée. Ensuite on pose soigneusement une lamelle de façon à éviter les bulles d'air; pour cela on la laisse tomber doucement sur un des côtés. Il faut presser légèrement la lamelle pour chasser les bulles d'air qui pourraient rester et avoir une préparation mince. On nettoie les bords de la lamelle; on laisse sécher et à l'aide d'un pinceau on l'enduit de vernis incolore, on lute les bords. Enfin on étiquette la lame avec les indications de l'échantillon.

Lorsqu'on veut photographier de beaux exemplaires, on peut le faire sur la lame de préparation, mais la photographie parfois n'est pas très nette à cause des résidus végétaux qui accompagnent les pollenospores; ainsi s'avère-t-il nécessaire d'isoler de bons exemplaires. Cette opération est parfois (et surtout lors des premières expériences) très laborieuse. Sur une lame, on prépare une couche de gélatine glycérimée mélangée avec le matériel palynologique provenant du flacon et on le laisse sécher sans recouvrir avec une lamelle. Sous le microscope à un faible grossissement, on balaie la préparation et lorsqu'on a trouvé un bon exemplaire, toujours sous contrôle microscopique, on découpe à l'aide d'une fine aiguille un rond autour de l'exemplaire; ensuite, sous la loupe binoculaire, on enlève ce rond de gélatine contenant l'exemplaire choisi.

Celui-ci est placé sur une lame dans une goutte de gélatine glycérolisée chauffée et recouvert d'une lamelle; toujours sous contrôle optique, on le suit jusqu'à ce que la gélatine devienne dure et que l'exemplaire s'arrête; par la suite, si sa position n'est pas bonne, on peut le mettre en bonne place en faisant glisser un peu la lamelle. Une fois l'exemplaire dans la position voulue, on marque cette position à l'aide d'une petite ligne en vernis à ongles coloré que l'on coupera ensuite avec une lame à rasoir en forme de flèche. Cette méthode, évidemment, n'est pas facile à faire et parfois demande beaucoup de temps. Néanmoins, il faut la faire pour obtenir une bonne collection d'exemplaires à photographier. On peut utiliser aussi un micromanipulateur pour enlever les exemplaires sans enlever la gélatine glycérolisée qui amène aussi de la saleté végétale provenant des résidus.

2- Le montage des macrospores

Pour les macrospores, l'étude se fait sous une loupe binoculaire en faisant un triage à l'aide d'une pointe lancéolée montée et ceci, à un grossissement voisin de 25 fois. Les spores trouvées ainsi sont comptées et classées à un grossissement de 50 fois. Il faut les isoler et les mettre dans un flacon étiqueté. Les meilleurs exemplaires sont montés sur une lame à cuvette que l'on recouvre d'une lamelle collée avec du ruban adhésif, afin de faire une collection d'exemplaires à photographier.

B.- L'ETUDE AU MICROSCOPE

1- Le microscope

Pour l'étude microscopique du matériel palynologique de grande taille, il faut utiliser une loupe binoculaire. Pour celui de petite taille il faut un bon équipement microscopique, car une grande partie de la réussite des déterminations et des représentations des individus dépend de sa qualité. C'est pourquoi un bon ensemble optique doit comprendre : une loupe binoculaire à objectifs de grossissement compris entre 1 et 8 fois et à oculaires entre 8 et 12, 5 fois, un microscope binoculaire dont les objectifs permettent un grossissement de 4 et 100 fois. Si cela est nécessaire, il faut aussi des oculaires adaptables à la vision avec lunettes, munis de lentilles micrométriques. Le microscope doit posséder une source lumineuse à intensité variable, une platine amovible, un système de diaphragmes qui facilitent le contrôle du faisceau lumineux, et également un ensemble de filtres. Pour la prise des photographies, il est souhaitable d'utiliser un ensemble automatique à cellule photoélectrique incorporée pour ne pas avoir à faire de calculs du temps de pose et ainsi gagner un temps précieux.

Au laboratoire de Palynologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Lille, on a d'autre part eu de très bons résultats avec l'équipement optique de comparaison de la marque Leitz qui permet de comparer deux individus placés sur deux microscopes différents, mais reliés entre eux. Les microscopes du type Ortholux peuvent être transformés facilement soit pour une vision en lumière transmise, soit pour une vision en lumière réfléchie. La lumière utilisée peut être normale ou bien polarisée. Tous ces caractéristiques permettent une utilisation tant pour des études palynologiques que pour des études pétrographiques. En outre, avec le système photographique automatique du type Orthomat, l'équi-

pement optique devient un ensemble optico-photoélectrique complet. Lorsqu'il s'agit de déceler certaines structures de pollenospores (celle de l'exine par exemple) l'utilisation du microscope électronique (grossissement 1 000 000 fois) donne de très bons résultats (ERDTMAN dans KREMP 1965).

2- L'étude palynologique d'une lame

Cette étude se fait au microscope par transparence. Quand la lame a été placée sur la platine, on la fait bouger à l'aide des vis correspondantes vers l'avant, l'arrière, la droite ou la gauche, pour "balayer" la préparation, et ceci à partir d'un des bords de la lamelle, ligne par ligne. Cette opération se fait avec un objectif à faible grossissement (25 fois); lorsqu'on repère un exemplaire, on l'analyse à l'aide d'objectifs à plus grand grossissement, parfois jusqu'à 1200 fois à l'immersion. Sous le microscope, les pollenospores apparaissent en quantités variables et également sous un aspect variable (taille, couleur, forme, structure, sculpture). Ils sont étudiés qualitativement et quantitativement selon la méthode choisie. Remarquons cependant que les individus fossiles se présentent presque toujours aplatis. Enfin il faut souligner, comme l'a fait déjà DANZE en 1960, que les déterminations spécifiques des pollenospores qui se basent essentiellement sur la nature, la distribution et l'importance de leur ornementation nécessitent les meilleures conditions optiques permettant d'identifier ces critères d'une façon nette et précise en combinant divers types de lumière, avec les diverses ouvertures des diaphragmes, etc...

3- Les photographies

La photographie est un outil indispensable en palynologie : c'est l'une des bases de bonne représentation des travaux, et c'est aussi une aide importante pour la parfaite description des individus étudiés. Les photographies constituent un matériel essentiel pour la détermination correcte des espèces; c'est pourquoi il faut photographier tous les palynomorphes trouvés dans les préparations, une ou plusieurs fois si on le juge convenable et, si possible, à différents niveaux de l'individu, sans craindre de ce qu'on pourrait appeler " le gaspillage des pellicules".

L'individu choisi est encadré, mis au point et photographié avec un objectif à 40 fois s'il est grand ou bien 60 fois s'il est petit. Dans le cas de "prises de détail" des pollenospores, on utilise un objectif à 100 fois et à immersion. Lorsqu'on utilise des appareils automatiques, le temps de pose, le déclenchement de l'obturateur, l'ouverture du diaphragme et l'avancement de la pellicule se font tous seuls. Après le développement, les photos sont présentées sur bandes et on choisit les meilleures, pour l'agrandissement (généralement 500) afin de pouvoir faire des comparaisons rapides avec les exemplaires présentés au même grossissement dans la plupart des publications. Cependant, lorsque les exemplaires sont de toute petite taille, ils sont grossis 1000 fois; on utilise ce grossissement également lorsque l'on veut rendre bien apparents certaines parties, particulièrement intéressantes des individus.

Lors de la prise des photographies il faut noter sur un carnet le type de pellicule utilisée, le numéro de la photographie, la préparation, l'objectif utilisé, le filtre, l'ouverture des divers diaphragmes, la description de l'individu et, si possible, sa position dans la classification choisie. Un petit schéma est très utile pour rendre plus apparents les caractéristiques de l'individu qui pourraient ne pas apparaître sur la photographie.

C.- LES FICHES

Après avoir mis les photos sur papier, il est nécessaire de faire des fiches individuelles pour chaque espèce qui nous indiqueront les caractéristiques morphologiques biologiques, et géologiques de l'espèce. Ces fiches dites spécifiques sont classées par groupes morphologiques, botaniques ou même par niveau stratigraphique dans des classeurs et, si on le désire, on peut même leur donner des couleurs différentes en fonction des critères géologiques, morphologiques, etc... Ainsi on pourra les repérer facilement et même on pourra faire des ensembles ou des comparaisons selon le but. On peut aussi faire des fiches dites de niveau en réunissant les photographies des différentes espèces trouvées dans un même niveau stratigraphique; celles-ci seront classées par ordre chronologique et ainsi on pourra voir la distribution verticale des espèces et aussi noter les zones palynologiques délimitées par apparition et disparition d'un certain groupe de pollenospores; le laps de temps entre l'apparition et le déclin de ces pollenospores se traduit par une certaine distribution stratigraphique dans le classeur à distribution chronologique.

D.- L'ETUDE QUALITATIVE

La base de cette méthode est l'étude des variations verticales et horizontales de certaines formes appelées guides ou caractéristiques, par l'entremise de l'analyse de plusieurs échantillons de plusieurs sections stratigraphiques d'une région quelconque. Ces formes guides caractérisent certaines couches, certaines séries, certaines formations et parfois d'autres unités stratigraphiques plus grandes. Le principal caractère de ces formes réside dans leur distribution restreinte dans le sens vertical; à cela se joint une distribution horizontale qui doit être la plus grande possible; ces formes doivent également avoir des caractères morphologiques bien définis qui permettent des différenciations faciles et enfin il faut qu'elles existent dans une quantité supérieure à 1% dans le spectre palynologique et ceci dans plusieurs sections stratigraphiques.

Ce type d'étude a une grande importance lorsqu'on veut dater certains sédiments car la présence d'une forme caractéristique dans un échantillon nous indiquera d'immédiat la position chrono-stratigraphique de celui-ci; malheureusement, l'étude qualitative nécessite l'analyse d'une grande quantité d'échantillons sur plusieurs sections afin de pouvoir voir nettement les changements de la microflore dans le sens vertical et horizontal.

E.- L'ETUDE QUANTITATIVE

Lorsque la quantité des échantillons en étude ne s'étend pas sur une grande partie d'une section stratigraphique, les changements dans la constitution de la microflore ne sont pas très apparents. Aussi a-t-on recours à des études de la variation quantitative des principaux genres recueillis, voir même des principales espèces, dans chaque échantillon étudié. Généralement les variations quantitatives au niveau des genres suffisent pour l'étude et on évite ainsi la dispersion au niveau des espèces.

Pour l'étude quantitative il faut prendre en considération :

- la fréquence absolue des pollenospores dans les échantillons
- leur fréquence relative.

1- La fréquence absolue

La fréquence absolue indique la quantité de pollenospores par centimètre cube ou par gramme d'échantillon. La mensuration de la fréquence absolue doit être réalisée d'une manière précise et uniforme pour chaque préparation en étude; elle demande une préparation mécanique et chimique absolument identique pour tous les échantillons. Le montage des lames doit être fait en utilisant toujours le même matériel (même taille des flacons, mêmes lames, mêmes lames, même compte gouttes) pour les quantités semblables d'alcool glycéринé contenant en suspension les pollenospores ainsi que de gélatine glycéринée. Il faut aussi veiller à ce que la préparation ait la même épaisseur. Bref, cette étude est très laborieuse mais elle est conseillée, lors des travaux de type paléographique ou sédimentaire et aussi dans le cas de travaux de type tectonique et volcanique. La méthode a donné de très bons résultats lors de l'étude des sédiments lacustres du Bassin de la Ville de Mexico, en 1955 (46, 131), par FOREMAN, CLISBY et SEARS.

Le comptage des individus se fait par lame ou par un nombre de lames, fixé au préalable, par échantillon. Avec les résultats numériques on fait des graphiques pour pouvoir représenter les variations de la concentration des pollenospores dans les échantillons : ce sont les courbes de fréquence absolue. Cette étude nous permet aussi le calcul de la fréquence relative des pollenospores.

2- La fréquence relative

La fréquence relative des pollenospores dans un échantillon nous indique la relation qui existe entre le nombre de pollenospores appartenant à un groupe, un genre ou une espèce donnée et le nombre total d'individus comptés par échantillon.

Cette méthode nous permet de voir les variations quantitatives, tant verticalement qu'horizontalement, du groupe du genre ou de l'espèce choisie dans l'ensemble d'échantillons, d'une ou plusieurs sections stratigraphiques.

La quantité de pollenospores ou de polynomorphes comptés par échantillon varie, selon la précision voulue, entre 100 et 1000 et pour ceci, en fonction de la fréquence absolue des individus, il faudra utiliser une ou plusieurs lames. Certains auteurs, lorsqu'ils n'ont pu compter, sur 3 ou 4 lames, la quantité minimum des pollenospores fixée auparavant, n'insistent plus et les résultats obtenus ne comptent pas dans le résultat final.

En principe la quantité fixée au préalable pour le comptage des individus par échantillons est fonction du nombre d'espèces que l'on a repéré au début; ainsi, si par exemple, nous n'avons trouvé que 10 espèces, un comptage de 100 individus par échantillon est largement suffisant pour donner une statistique certaine de chaque espèce; par contre, si le nombre de formes repérées est très important il faudra augmenter le nombre d'individus à compter pour chacune de ces formes pour avoir une exactitude statistique valable.

Les comptages doivent se faire en utilisant des feuilles spéciales sur lesquelles il faut noter, sur des colonnes, les différents groupes, genres ou espèces de comptage par échantillon. L'opération demande beaucoup de patience afin de pouvoir compter tous les pollenospores au fur et à mesure qu'on balaie la lame. Pour ce comptage on peut utiliser des machines intégratrices du type du "Compteur de points" automatique à clavier de 14 touches employé pour l'étude pétrographique, qui additionnent et donnent des pourcentages immédiats.

F.- LES DIMENSIONS DES POLLENOSPORES

La mesure des pollenospores est très facile; elle concerne d'abord les principaux caractères morphologiques soit les dimensions du contour équatorial, du contour méridien et des éléments de sculpture; elle a ensuite rapport aux caractères d'ordre structural : épaisseur de l'exine et de ses différentes couches si possible, et aux caractères d'ordre germinatif : dimension des ouvertures.

Dans le cas des spores, la figure 6 indique les dimensions qu'il faut connaître. Pour le cas des grains de pollen, les fig. 13-D indiquent les mêmes critères. En général il faut toujours voir les pollenospores en tant que corps géométriques ou figures géométriques. Ainsi, pour une forme circulaire, la dimension principale est son diamètre; pour les figures rectangulaires ou semi-rectangulaires, les dimensions principales sont la longueur et la largeur; pour les formes triangulaires, les dimensions principales sont celle de la base et celle de la hauteur; pour les figures polygonales, ce sont la dimension du diamètre de la circonférence circonscrite et celle des côtés; pour les formes elliptiques, les dimensions principales sont celles de l'axe principal et celle de l'axe secondaire, etc... Dans le cas des grains bisaccates, les 9 longueurs indiquées sur la figure 13, B sont les plus importantes; cependant quand on a des grains de pollen en état maximum de gonflement, on peut se limiter aux valeurs 1-2-3-4 et 8.

Si l'on veut représenter les variations des dimensions des pollenospores, d'une espèce bien déterminée, on peut le faire à l'aide de courbes de fréquences. Pour ceci, il faut bien choisir la dimension la plus stable dans les différentes conditions dans lesquelles se présentent les individus, soit à l'état fossile ou soit à l'état actuel. Les courbes de fréquence se font en plaçant sur la ligne des abscisses les dimensions des individus et en ordonnées le nombre d'individus comptés pour chaque dimension. Le comptage se fait généralement sur 100 à 200 individus. Dans le cas des grains de pollen bisaccates, le graphique doit se baser sur les variations de la dimension 3 de la figure 20 B (c'est-à-dire sur celle de l'axe principal de l'ellipse formée par le contour équatorial du corps du grain) car celle-ci varie peu même dans les cas de turgescence extrême.

G.- LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

Reçoit le nom de spectre palynologique, l'ensemble des pourcentages des différents groupes des palynomorphes comptés dans un échantillon. Le spectre palynologique peut être uniquement pollinique, si les divisions de références appartiennent exclusivement à des groupes de pollen. L'ensemble des spectres palynologiques d'une section stratigraphique représentée graphiquement reçoit le nom de diagramme palynologique.

Il y a beaucoup de façon de construire les diagrammes palynologiques. Lorsqu'ils doivent montrer essentiellement les changements de microflore dans une séquence stratigraphique, il faut, avant de les établir, connaître quelles sont les plantes ou les associations de plantes qui ont formé la dite végétation ainsi que les circonstances écologiques nécessaires pour le développement de chacune d'elles; on pourra alors établir les groupements de grains de pollen ou de spores qui ont nécessité les mêmes caractéristiques écologiques. Ces groupes seront différents pour les divers milieux de dépôt : c'est ainsi par exemple

que les associations choisies pour le cas de milieux de dépôts continentaux de terres hautes doivent être différentes de celles utilisées quand on étudie les dépôts continentaux de terres basses, elles-mêmes à leur tour étant différentes de celles provenant de milieux littoraux ou de la plateforme continentale; dans le dernier de ces cas, on peut même introduire dans le diagramme un groupe correspondant aux individus planctoniques. Les variations verticales des spectres nous montrent les variations d'un groupe en rapport avec les changements de conditions du milieu dans un laps de temps.

Pour les études de la flore des régions tropicales de l'Amérique du Sud van der Hammen a constitué des diagrammes qui ont donné d'excellents résultats. Les diagrammes appelés P. A. F. présentant la variation verticale quantitative des éléments reproducteurs de 3 groupes de plantes qui sont P, le pollen du groupe des Palmiers, F, l'ensemble des spores et A, le pollen des Angiospermes (principalement Dicotylédones) et les pollenospores non inclus dans les autres groupes.

D'autres auteurs préfèrent diviser le spectre palynologique en groupes morphologiques, en groupes à caractéristiques germinatives semblables ou bien en groupe à grande affinité botanique. CRICKMAY et POCOK en 1963, pour l'étude des sédiments du Crétacé de la Colombie Britannique au Canada, ont divisé le spectre palynologique en 10 groupes correspondant à : 1- pollen fusiforme laevigata, 2- pollen circulaire laevigata, 3- pollen circulaire à paroi mince, 4- pollen inaperturé, 5- pollen d'Angiospermes, 6- pollen triporé, 7- pollen bisaccate, 8- spores triletes, 9- spores triangulaires de petite taille et 10- spores de champignons.

Dans un même diagramme on peut avoir, à la fois, la représentation des variations verticales quantitatives des groupes avec des espèces ou des genres; cela risque de donner de grands diagrammes, mais cela s'avère parfois nécessaire et même, dans le cas qui nous intéresse, indispensable. Ils représentent fidèlement les petites variations de caractère local des espèces au niveau des échantillons; ces diagrammes sont indispensables pour les études qualitatives, lorsqu'il faut suivre la variation, les apparitions et les disparitions de formes caractéristiques.

Les résultats peuvent être résumés en utilisant les courbes cumulées qui réunissent quelques groupes morphologiques (triletes, monoletes, colpates, porates, etc.).

Dans le cas de l'étude évolutive de la flore d'une veine de charbon, il est nécessaire de faire la représentation de la variation quantitative des espèces trouvées dans les différents échantillons constituant la section de la veine. Ces diagrammes peuvent être utilisés pour la corrélation des veines d'un bassin houiller.

On établit ainsi un diagramme palynologique : sur la ligne horizontale, on place dans des colonnes les différents groupes choisis et la largeur de chaque colonne représente un certain pourcentage. Sur la ligne verticale, on place les différents spectres étudiés dans la section en ordre chrono-stratigraphique. Les échelles sont choisies en fonction de l'épaisseur de la section stratigraphique et du nombre de groupes étudiés; elles peuvent être plus ou moins exagérées dans le sens vertical ou horizontal afin de rendre plus ou moins visibles certains changements particulièrement intéressants. Les pourcentages des divers groupes du spectre sont représentés dans la colonne correspondant à chacun d'eux et ceci de deux manières : on dessine un trait horizontal proportionnel au pourcentage à partir d'une ligne verticale, toujours dans la même direction ou bien on

place le trait horizontalement d'une manière centrée sur la ligne méridienne de la colonne. Quand on a joint les extrémités des traits, on obtient par cette dernière méthode des graphiques très caractéristiques qui ont reçu le nom de "graphiques à fuseaux".

Pour établir des corrélations de veines de charbon, il est utile de construire de petits diagrammes contenant les fréquences relatives moyennes des principaux groupes ou des principales espèces des veines. En effet, les petits graphiques d'une veine de charbon dans le même bassin ne doivent théoriquement pas varier beaucoup et ceci permet, en les comparant, de faire des corrélations. En rapport de l'importance de la fréquence relative des espèces, celles-ci peuvent être divisées en 4 catégories : 1.- principales, si elles dépassent 5%, 2.- secondaires, quand leurs proportions sont comprises entre 1 et 5%, 3.- accessoires, si elles ont entre 0,1 et 1%, enfin 4.- négligeables, si elles ont moins de 0,1%.

H.- L'INTERPRETATION DES DIAGRAMMES

Lorsqu'un diagramme est terminé, il faut essayer d'en tirer le maximum de renseignements. Il n'est pas difficile de voir les variations quantitatives et qualitatives des espèces des genres ou des groupes palynologiques représentés. Ces variations sont généralement marquées par des maximums ou des minimums progressifs ou brutaux. On peut voir que quelques groupes ou espèces apparaissent à niveaux bien délimités. Les phénomènes qui sont à l'origine de ces faits peuvent être du type climatique, sédimentaire, tectonique, etc. Ainsi, certains points ou niveaux à fréquence maximum ou minimum peuvent être utilisés en tant que niveaux de repère ou de comparaison avec d'autres diagrammes. Mais avant de s'engager dans les conclusions il faut bien analyser à fond chaque diagramme en faisant entrer en jeu le plus grand nombre de renseignements de type biologique et géologique.

CHAPITRE QUATRIEME

LA PALYNOLOGIE APPLIQUEE

PLAN GENERAL DU CHAPITRE QUATRIEME

- I .- E T U D E D E S M I E L S
- II .- M E D E C I N E
- III .- P H A R M A C O G N O S I E
- IV .- B O T A N I Q U E E T P A L E O B O T A N I Q U E
- V .- A G R O N O M I E
- VI .- A N T H R O P O L O G I E E T A R C H E O L O G I E
- VII .- G E O - S C I E N C E S D U M I L I E U
 - A.- PALEOCLIMATOLOGIE
 - B.- PALEOGEOGRAPHIE
 - C.- PALEOCOLOGIE
- VIII.- G E O L O G I E
 - A.- GEOCHRONOLOGIE
 - B.- STRATIGRAPHIE ET SEDIMENTOLOGIE
 - C.- TECTONISME
 - D.- GEOLOGIE APPLIQUEE
- IX .- C R I T I Q U E D E L ' E M P L O I D E S P O L L E N O S P O R E S
E N T A N T Q U E M I C R O F O S S I L E S
 - A.- AVANTAGES
 - B.- INCONVENIENTS
 - C.- CONCLUSION

LA PALYNOLOGIE APPLIQUEE

Bien qu'elle soit une science relativement récente, la palynologie a trouvé rapidement un grand champ d'action dans les autres domaines. On l'applique principalement, dans l'étude des miels, en médecine, pharmacognosie, botanique, paléobotanique, agronomie, anthropologie, archéologie, géographie, paléogéographie et géologie (aussi dans la criminologie et dans l'étude des restes des météorites).

I .- ETUDE DES MIELS

L'une des bases de la nourriture des abeilles est le pollen des fleurs. La composition chimique du pollen varie selon les espèces de plantes qui le produisent; la teneur des protéines varie entre 7 à 11%, chez le pollen de pin, atteint jusqu'à 35% chez le pollen des palmiers à dattes; les matières grasses varient de 1% chez les bouleaux jusqu'à 17,5% chez le noyer. Le pollen recueilli par les abeilles contient beaucoup de vitamines (B, C, D et E) mais on n'y a jamais trouvé des vitamines A et K. C'est ainsi que le miel d'une région donnée aura une composition chimique et des caractéristiques physiques très particulières, amenées par la composition chimique du pollen apporté par les abeilles à partir des plantes de la région; c'est pour cela que selon le pays, le miel a une couleur, une saveur et une composition chimique différente.

Le miel est beaucoup employé en pharmacie, par exemple dans la fabrication des Mellitites (médicament préparé avec du miel dilué); il sert aussi d'excipient dans les masses pilulaires; le miel employé en pharmacie doit avoir certaines propriétés de pureté et de couleur.

Les miels sont l'objet de nombreuses falsifications qui peuvent être découvertes par des méthodes physiques et chimiques. L'une de ces méthodes est l'étude des grains de pollen du miel (melissopalynologie) qui permet de déterminer un type de miel, de savoir son lieu d'origine et de connaître, dans certains cas, son âge. La melissopalynologie trouve aussi une application dans l'archéologie quand on trouve du miel ou de l'hydromiel dans les tombes de certaines anciennes civilisations; leur étude palynologique permet de déterminer la flore du lieu d'origine, ainsi que l'âge approximatif de ces produits et par suite la date de la construction de la tombe (119).

II .- MEDECINE

Le pollen de certaines plantes entomophiles est toxique, mais pour connaître ses effets, il est nécessaire de le manipuler directement. Parmi les principales plantes qui donnent des maladies de type respiratoire d'origine allergique à cause du pollen (rhume des foin ou pollinose par exemple), on a les plantes herbacées du type de l'Ambrosia. Dans certains pays, on étudie les pollenospores de l'air par la méthode palynologique (aéropalynologie) et grâce à leur étude quantitative, on arrive à établir les variations des différents types de grains de pollen et des spores durant les diverses saisons de l'année. Dans les grandes villes de certains pays, on publie tous les jours dans les journaux des résultats quantitatifs, afin de prévenir les gens allergiques. Certaines plantes microscopiques provoquent des maladies tant pour l'homme que pour les animaux, elles sont transmises par contagion ou par l'intermédiaire des spores de ces plantes qui se trouvent dans l'air. On peut essayer de prévoir ce type de maladies, appliquant ainsi la palynologie dans le domaine de la

médecine.

III .- PHARMACOGNOSIE

Les grains de pollen sont quelquefois très importants dans les analyses qualitatives des produits pharmaceutiques en poudre. Leur étude permet de découvrir des falsifications et des substitutions.

IV .- BOTANIQUE ET PALEOBOTANIQUE

Les données d'une analyse palynologique doivent être intégrées, autant que possible, dans l'ensemble des connaissances acquises sur la vie végétale des temps passés et des temps actuels, c'est-à-dire dans la Paléobotanique et la Botanique (85).

L'étude des spores et des grains de pollen peut s'effectuer du point de vue de la morphologie végétale. Les données acquises de cette façon contribuent à la classification des végétaux et aident à éclaircir leur histoire (6)

Actuellement, on peut trouver un grand nombre de publications sur l'étude du pollen et des spores des plantes vivantes; ces travaux ont permis de déterminer les caractéristiques générales des éléments reproducteurs des différentes divisions botaniques actuelles. Si nous nous basons sur les caractéristiques morphologiques, sculpturales et fonctionnelles des grains de pollen et des spores actuels, nous pourrions donc connaître avec une certaine précision la division, la famille, le genre ou l'espèce botanique auxquels appartiennent les plantes qui ont produit ces pollenspores, quand on les trouve isolés.

Pour ce qui est des spores et grains de pollen fossiles, il est très difficile d'établir les relations qu'ils présentent avec les plantes fossiles connues. Les difficultés sont basées sur le fait que :

- 1- les plantes fossiles connues en structure et en empreintes n'ont pas toujours une classification botanique précise.
- 2- les éléments reproducteurs de ces plantes sont rarement trouvés en relation directe avec la plante mère.

A cause de ces difficultés, les spores et les grains de pollen fossiles, ne peuvent pas être introduits dans la classification botanique, sauf certaines exceptions, même si théoriquement ils se trouvent en relation directe avec des espèces de plantes fossiles.

Les éléments reproducteurs des végétaux ont subi, de même que leurs plantes mères, une évolution; c'est pourquoi, d'après les caractéristiques des spores et des grains de pollen fossiles, on peut expliquer en partie l'évolution des végétaux à travers les temps géologiques, la transformation des espèces, l'apparition d'un groupe de plantes, sa prédominance et son déclin. Ces terres émergées, par exemple, ont été peuplées il y a 300 millions d'années, surtout par des Fougères et des Lepidophytes; un peu après (il y a 100 à 200 millions d'années), par des plantes à graines nues, comme les Araucarias et les Pins et enfin, depuis 100 millions d'années par les plantes à graines enfermées dans des ovaires : ce sont ces dernières qui constituent aujourd'hui 98% du nombre des espèces de plantes à racines (42 a).

Les pollenspores des sédiments post-crétacés peuvent appartenir à des plantes qui existent encore actuellement et ceci permet, par l'intermédiaire de la morphologie comparée, de trouver leurs affinités botanique. Quand l'étude se fait sur des sédiments pré-crétacés, l'affinité botanique de ces éléments

reproducteurs est plus difficile à trouver et la précision de cette affinité est plus douteuse au fur et à mesure que l'âge des sédiments augmente.

L'étude de l'évolution de la flore d'une région donnée, par des méthodes palynologiques, est tout à fait valable, à condition que les espèces des plantes productrices des éléments reproducteurs étudiés soient reconnues actuellement et permettent de faire une détermination précise du type des éléments qu'elles produisent. Ceci revient à dire que la méthode palynologique est valable essentiellement pour l'évolution de la flore du Quaternaire, surtout post-glaciaire (147).

Les études sur l'évolution des flores fossiles sont très abondantes. L'une des premières et l'une des plus importantes en Amérique du Sud, a été faite par VAN DER HAMMEN en 1954 et 1957 qui a étudié les sédiments de la partie supérieure du Crétacé et du Tertiaire de Colombie. D'après les diagrammes palynologiques faits sur l'étude statistique des spores et grains de pollen trouvés, l'auteur décrit le développement de la flore colombienne, ainsi que l'évolution et la migration de certaines espèces végétales. A cause de l'influence des changements périodiques du climat, la flore de la région a subi des changements au travers des temps géologiques compris entre le Crétacé et le Tertiaire. Les changements périodiques de la température s'observent bien nettement sur les diagrammes palynologiques sous la forme de changements brutaux de la composition de l'ensemble des groupes qui forment le "spectre palynologique". Selon les espèces, les changements du climat ont donné une action différente. C'est le pollen des plantes les plus résistantes à ces changements climatiques qui atteint les valeurs maximales sur les graphiques, tandis que le pollen des espèces les moins résistantes y présente des valeurs minimales. Lorsque les changements de climat ont été très brutaux et intenses, plusieurs groupes de plantes ont disparu ou bien ont évolué et donné de nouvelles espèces plus résistantes. De cette manière, tandis que de nouvelles espèces s'installaient, les espèces plus résistantes se propageaient pendant les périodes de climat stable et constituaient la plus grande quantité des végétaux.

En général, une nouvelle espèce a besoin d'une période de temps très grande pour émigrer de son lieu d'origine jusqu'aux régions voisines; la durée de l'émigration et la distribution de l'espèce peuvent être connues grâce aux diagrammes palynologiques.

Quand on fait des recherches sur l'évolution de la flore post-tertiaire, les meilleurs gisements à étudier sont les tourbes qui peuvent être datées d'après les microfossiles, la vitesse de formation de la tourbe, les méthodes radioactives, etc... lorsque les tourbes ne sont pas abondantes ou qu'elles n'existent pas dans une région, il est nécessaire d'étudier les sols et même les excréments fossiles. Ainsi, on a pu établir la présence, il y a 4500 ans, sur les montagnes du Sahara central de végétaux qui vivent actuellement sur les niveaux méditerranéens humides tels que les chênes, cèdres, noyers etc.; sur les parties les plus basses, il y avait encore, à la même époque, le pin d'Alep, le Chêne vert et même, avant ces espèces, l'orme, le frêne et le tilleul; or, parmi ces plantes, les deux premières sont très rares actuellement et la dernière est inconnue sur le continent africain. De cette manière, on a pu conclure, d'après les études palynologiques, que la transformation du Sahara en désert s'est effectué par des processus qui ont une relation avec les oscillations glaciaires en Europe (147).

V .- AGRONOMIE

Dans l'agronomie, la Palynologie trouve son application dans l'Agriculture, ainsi que dans une science auxiliaire, la Pédologie.

Dans l'agriculture, on applique la Palynologie principalement dans la culture des graminées ainsi que dans l'Horticulture dont elle étudie la distribution du pollen et s'applique directement dans l'hybridation. Dans l'horticulture, les principales applications se trouvent dans la Floriculture, l'Arboriculture fruitière, l'Arboriculture forestière et dans la Culture des légumineuses afin d'obtenir, avec l'aide de la pollinisation artificielle, des hybrides. Ces hybrides, en agriculture ont une grande valeur quand il s'agit d'obtenir des variétés de grande résistance aux variations de climat, aux parasites, ou bien des variétés de grand rendement économique. Avec l'hybridation artificielle, l'homme peut multiplier la variété des fleurs et des fruits; en général, ces variétés produisent des plantes à croissance rapide et plus vigoureuse que celle de leurs parents et elles ont tendance à vivre plus longtemps. Dans le cas des parcelles de sélection, la palynologie permet de connaître, par différentes méthodes, la distance maximale de dissémination du pollen de certaines espèces et par conséquent de calculer la plus grande distance qu'il doit y avoir entre deux individus pour obtenir le maximum de rendement.

Dans la pédologie, on applique la palynologie à l'étude des éléments reproducteurs de la microflore du sol, afin de résoudre les problèmes concernant l'élimination de la microflore nuisible aux plantes de culture.

VI .- ANTHROPOLOGIE ET ARCHEOLOGIE

L'Anthropologie étudie l'homme biologiquement; elle étudie ses caractéristiques anatomiques, son évolution ainsi que sa conduite individuelle et sociale. L'archéologie étudie les civilisations anciennes grâce aux monuments et aux objets qui subsistent, même si ils ne sont pas des oeuvres d'art. En paléoarchéologie, selon les méthodes stratigraphiques, il est possible de définir les différentes couches de sédiments qui correspondent aux différentes occupations (civilisations) d'un lieu, en reconstruisant son histoire.

Lorsqu'on trouve des restes de caractère anthropologique, il est nécessaire d'essayer de reconstruire le milieu dans lequel ont vécu les individus auxquels les restes appartiennent. Ceci peut se faire d'après les données d'une analyse palynologique des sédiments à l'intérieur desquels on a trouvé les restes. L'âge des sédiments et des restes peut se calculer en utilisant des méthodes radioactives comme le C_{14} qui donne une précision très grande jusqu'à un âge de 50 000 ans.

Si l'on trouve des objets dans les fouilles archéologiques ou anthropologiques, ils peuvent permettre d'expliquer le degré de la culture des individus qui les ont construits. La méthode radioactive du C_{14} est très utile dans ces cas, car elle permet de dater les objets. L'analyse palynologique des sédiments qui couvrent l'objet trouvé va nous aider à interpréter le milieu de ce lieu à la date calculée grâce au C_{14} . Parfois il n'est pas nécessaire d'échantillonner le sédiment, mais de récupérer le matériel trouvé à l'intérieur de l'objet ou dans ses cassures. Ce matériel est le plus souvent suffisant pour faire une bonne étude palynologique qui donnera des informations concernant le climat et la flore; il est préférable de ne pas nettoyer les objets archéologiques avant de récupérer l'échantillon palynologique (119 a).

L'étude des horizons archéologiques du bassin de la ville de Mexico (Sears

1952) faite palynologiquement et basée sur le calcul de l'âge par la méthode radioactive du C_{14} , a permis de savoir que les cultures des rives de l'ancien lac Arcaica (2500-500 avant J.C.) et de Nahua (900-1500 après J.C.) ont été séparées par un laps de temps à climat sec durant lequel l'intervention de la culture Teotihuacana (500 avant J.C.-900 après J.C.) fut dominante. Un laps de temps à climat humide, signalé par un sol sombre à humus et par un haut niveau des eaux, marque le commencement de la culture Arcaica qui persiste pendant une période sèche indiquée par un niveau bas des eaux des lacs qui dure jusqu'à 500 après J.C. C'est alors que la culture Teotihuacana des hautes terres s'installe et emploie de l'eau souterraine provenant des régions montagneuses couvertes par des forêts. Pendant la période humide qui suit, l'activité humaine se concentre près des rives des lacs vers 800-900 après J.C. Théoriquement, la période sèche qui précède la culture Arcaica peut être corrélée avec la disposition et le recul de la glace des glaciers; au même moment les forêts de sapins s'installaient en Alaska (date du C_{14} 3500 ± 250). L'étude des horizons archéologiques du bassin de la ville de Mexico a nécessité la collaboration de plusieurs spécialistes : ingénieur, géologue, sédimentologue, palynologiste, écologue, archéologue ainsi que l'aide d'un climatologue et d'un géographe botaniste (131).

En 1955, CLISBY et SEARS (46) étudièrent la microflore des sédiments du sous-sol de la ville de Mexico. Dans cette étude, ils ont trouvé du pollen de maïs à travers toutes les périodes archéologiques étudiées, ce qui montre que l'activité agricole dans le bassin étudié remonte à des dates très anciennes : ils ont en effet trouvé des preuves de la culture du maïs jusqu'à une profondeur de 70 m; ceci est une preuve en faveur de l'origine américaine de cette plante. En Colombie, quand on a fait l'étude de la "Laguna de Los Lobos" (VAN DER HAMMEN 1962), dans les diagrammes palynologiques on a pu préciser une période de temps pendant laquelle les grains de maïs étaient très nombreux dans les sédiments de même que la quantité de charbon végétal; ceci prouve aussi l'existence d'une époque agricole qui, selon la datation donnée par le C_{14} , a commencé vers les années 300 et 400 avant J.C. et s'est terminée vers 1200 après J.C., pour réapparaître à une date très récente.

VII .- G E O - S C I E N C E S D U M I L I E U

L'étude du pollen et des spores fossiles peut donner une idée objective sur l'origine et l'histoire des plantes qui les ont produits (phylogénèse). La palynologie peut également être employée pour les études paléophytogéographiques en se basant sur le fait que les éléments reproducteurs des plantes sont moins sujets aux influences du milieu que les autres organes des végétaux.

La paléophytogéographie est basée sur l'interprétation des résultats obtenus grâce à diverses disciplines telles que la paléoclimatologie et la paléogéographie et en général grâce à la paléoécologie et la paléobotanique; les trois premières de ces sciences ont été appelées géo-sciences du milieu (240).

A.- PALEOCLIMATOLOGIE

Lorsqu'on étudie les végétaux fossiles, il importe de penser au climat qui a présidé à la vie de ces plantes.

L'interprétation des paléoclimats par l'intermédiaire de la palynologie ou d'autres branches de la paléontologie rend possible certaines hypothèses qu'il est nécessaire d'éviter. Néanmoins, des conclusions de caractère général en

rapport avec le climat peuvent être extraites des résultats de la palynologie (275).

L'emploi de la palynologie comme indicateur des climats du post-Pliocène est très commun en Europe et en Amérique du Nord. Pourtant, l'interprétation par des méthodes palynologique des climats du Pleistocène et même des périodes géologiques plus anciennes est chaque jour plus employée.

Lorsqu'on étudie le climat du Pléistocène ou de la période post-Pleistocène, il faut analyser les sédiments des bassins lacustres et des tourbières ou les sédiments de type marécageux car on considère que les pollenospores qu'on trouve à l'intérieur sont en rapport direct de la végétation immédiatement voisine de l'aire du dépôt. Dans l'étude des sédiments post-glaciaires, les échantillons doivent être pris dans les dépressions formées par la glace (131). Quand il faut étudier une époque glaciaire, étant donné que la plupart des sédiments glaciaires n'ont pas de pollenospores, il faut étudier les sédiments post et pré-glaciaires pour pouvoir limiter cette époque.

Les conclusions concernant les paléoclimats que l'on obtient à partir des études palynologiques seraient plus précises si les plantes mères des spores et pollen étudiés existaient actuellement et permettaient de connaître leur écologie. Par contre, la précision sera moins grande au fur et à mesure qu'augmente la quantité de pollenospores sans affinités botaniques précises. C'est ainsi que, le pollen saccate a été produit, durant les périodes géologiques passées, par des plantes Ptéridospermées et des Gymnospermées (coniférales). Les premières ont actuellement disparu tandis que les secondes existent encore et c'est pourquoi il est douteux d'employer le "pollen" des Ptéridospermées comme une base d'interprétation précise des paléoclimats car on ne connaît pas leur véritable écologie (275). Néanmoins sur les diagrammes palynologiques l'emploi des changements du pourcentage du "pollen" des Ptéridospermées peut être utilisé mais ceci uniquement pour indiquer, d'après les pourcentages globaux, les changements de climat.

L'étude des paléoclimats des âges plus anciens que le Pléistocène est très utile quand il s'agit d'obtenir des résultats globaux sur les variations de climat. Ces variations climatiques sont déduites des variations quantitatives des différents groupes de pollen et de spores. Les diagrammes obtenus par l'étude palynologique représentent les variations quantitatives des différents groupes basées sur des caractéristiques morphologiques ou des affinités botaniques (quant elles existent) ou encore sur des caractères de sculpture, de structure etc... des éléments reproducteurs. Les changements dans la composition des diagrammes représentent des changements dans l'ensemble de la végétation de l'aire, et par conséquent, du climat. Dans ces études il est nécessaire de ne pas tenir compte des petites variations dues également à des conditions locales.

L'étude des paléoclimats des différentes périodes archéologiques du bassin de la ville de Mexico (320) a montré dans cette région un changement du climat très net vers l'année 500 avant J.C. En Colombie ce même changement a eu lieu vers l'année 600 avant J.C. (158). Cette variation de climat correspond au changement de climat de la limite des périodes sub-boréale et sub-atlantique en Europe (vers 700 avant J.C.). D'autres études palynologiques basées sur la datation par le C_{14} ont démontré que la période interstadial de Allerød du Tardiglaciaire est chronologiquement identique dans toute l'Europe et dans l'Amérique du Nord; en outre, le dernier avancement important de la glace après l'Interstadial est contemporain non seulement sur l'hémisphère Nord mais peut être aussi sur l'hémisphère Sud. Le synchronisme des climats du Quaternaire montre que les changements climatiques n'ont pas été amenés par les mouvements des pôles

de la terre mais par des causes indépendantes de ceux-ci (151). Puisque ces changements de climat sont de caractère mondial, ils peuvent aider à faire des corrélations de type intercontinental et ils peuvent être utilisés en Géologie et Archéologie.

Les études de paléoclimats post-pleistocènes faites par des méthodes palynologiques se sont avérées d'une très grande utilité dans le domaine des corrélations intercontinentales.

Le travail de SCHOPF, en 1962, (315) sur les gisements de charbon des montagnes Horlick de l'Antarctique, a mis en évidence la grande valeur de la palynologie dans l'étude des paléoclimats. En comparant les caractéristiques biologiques des fossiles végétaux recueillis, on a pu déterminer l'âge des roches. Même si les pollenospores extraits n'étaient pas bien conservés, leur étude plus que celle de la mégaflore a permis de connaître la flore qui existait et de déduire les conditions du climat de cet endroit puisque c'était ce climat qui favorisait la croissance des plantes arborescentes de type ligneux.

En 1954, VAN DER HAMMEN (148) étudia les sédiments des formations du Crétacé Supérieur et du Tertiaire des Andes colombiennes. Ces sédiments sont surtout continentaux (lacustres, lagunaires et fluviales dans leur plus grande partie). Cet auteur trouva que, quelque soit le contenu spécifique de la flore, les changements profonds de la végétation, statistiquement enregistrés, sont la réponse à de grands changements de caractère mondial de la température. D'après les diagrammes palynologiques, il a pu diviser la période de temps de 42 millions d'années, comprise entre la base du Tertiaire et la base du Miocène (d'après la datation faite avec la méthode radioactive Sodium-Plomb), en 21 zones palynologiques de même épaisseur délimitées par des changements du climat; d'un intervalle de 3 zones, à un autre, le changement de température était très important, ainsi a-t-il établi des unités de 3 zones. Puisqu'il s'agit de 21 zones en 42 millions d'années, chaque zone montre une durée de 2 millions d'années et chaque unité une durée de 6 millions d'années.

La périodicité des changements climatiques en Colombie présente alors des phases majeures de 6 millions d'années et des phases mineures de 2 millions d'années. Les changements des phases majeures correspondent toujours aux limites des époques géologiques internationales qui ont pu être reconnues grâce à des bases paléozoologiques; ces changements ont d'ailleurs montré une apparition des différents types (typogénèse). Cette typogénèse est très importante sur le changement climatique qui correspond à la base du Tertiaire. L'auteur attribue l'origine de ces changements cycliques de température à des variations des radiations du soleil (cycles de longue durée) à périodicité de 60 millions d'années, 6 millions d'années et 2 millions d'années. Les transgressions et régressions qui se présentent durant ces changements de température peuvent être dus à la même origine. D'après cette périodicité climatique, il trouva que la durée du Paléocène a été de 6 millions d'années, celle de l'Eocène de 18 millions d'années et celle de l'Oligocène 18 millions d'années; de même, c'est à 6 millions d'années qui a été évaluée la durée du Maestrichtien. Toutes ces durées sont à peu près similaires à celles qui ont été déduites par d'autres méthodes.

Les mêmes variations cycliques de climat ont été trouvées dans le Paléocène de la Guyane Britannique en 1964, et ceci d'après les études palynologiques (143).

BURGL en 1961 (41) étudie les formations crétacées de l'Est de la Colombie par des méthodes stratigraphiques non palynologiques et il trouve une sédimentation cyclique géosynclinale. Les sédiments présentent 10 cycles à épais-

seur égale qui correspondent, selon les bases paléozoologiques, aux époques intercontinentales : Maestrichtien, Sénonien, Turonien, Cénomanién, Albien, Aptien, Barrémien, Hauterivién, Valanginién et Berriasien. L'auteur donne aussi une durée de 6 millions d'années à chaque cycle sédimentaire en se basant sur le fait que la durée du Crétacé est de 60 millions d'années.

Très récemment, BURGER en 1966 (40) a présenté les résultats de l'étude palynologique des sédiments appartenant à l'extrême sommet du Jurassique et à l'extrême base du Crétacé de l'Est de la Hollande; il trouva une périodicité climatique semblable à celle déterminée par VAN DER HAMMEN en Colombie et en Guyane britannique. Il reconnut en effet des cycles climatiques mineurs de 2 à 3 millions d'années et majeurs de 7 millions d'années. L'origine de cette périodicité est dûe pense-t-il aux oscillations du niveau de la mer. Ces oscillations sont synchrones durant le Crétacé et, pour cet auteur, elles ont une durée de 7 millions d'années. De même, chacune de ces fluctuations majeures a été accompagnée, par une apparition et une disparition d'espèces.

B.- PALEOGEOGRAPHIE

La palynologie trouve une application dans l'étude de la géographie des temps géologiques du globe terrestre. Les données qui peuvent nous aider à reconstruire la géographie d'une aire de dépôt et des aires voisines sont: l'interprétation des diagrammes palynologiques, le type dominant des pollenspores, l'ensemble des pollenspores trouvées, le caractère des sédiments, etc...

La prédominance d'un certain type de pollen ou de spores, ainsi que leur association globale, peuvent indiquer si la végétation prédominante était caractéristique de terres basses ou de terres hautes. Dans l'étude palynologique faite au Vénézuéla par KUYL et AL. en 1955, les auteurs ont pu faire la différence entre les associations typiques des pollenspores correspondants aux plantes de mangrove et celles des terres hautes. Le résultat de ces investigations les amena à conclure que ces deux associations de pollenspores ont une distribution différente en rapport avec la ligne de côte. La variation horizontale de la densité d'un certain type de pollen ou de spore dans les sédiments peut nous indiquer la direction du dépôt en tenant compte des courants d'eau ou d'air.

Dans le matériel palynologique, nous trouvons parfois des morceaux de cuticules appartenant à des feuilles et à des graines de plantes voisines du lieu de dépôt. Il est très difficile de trouver une relation botanique entre ces morceaux de cuticule et les plantes auxquelles elles appartiennent; néanmoins, du point de vue paléogéographique ces débris ont un grand intérêt. MULLER en 1959, trouva que dans les sédiments de l'Orénoque au Vénézuéla et de la Mer des Caraïbes, la taille des fragments de cuticules diminue rapidement quand on s'éloigne de la ligne de côte (344). De la même façon, les trachéides provenant du tissu conducteur des Gymnospermes présentent une importance paléogéographique car on les trouve sur les sédiments de la côte ou dans son voisinage (344). Ces principes sont employés avec succès dans l'industrie du pétrole pour déterminer les lignes de côtes; il faut ajouter aussi le fait que dans l'eau s'effectue une sélection granulométrique des pollenspores (identique à celle des éléments clastiques) qui est en relation directe avec la distance existante jusqu'à la ligne de côte. La présence de palynomorphes autre que les pollenspores (tels que les Foraminifères) est aussi employée comme élément indicateur paléogéographique car la relation pollenspores-éléments planctoniques d'un

échantillon varie en fonction de sa position par rapport à la ligne de côte.

C.- PALEOECOLOGIE

La paléoécologie étudie les fossiles en fonction du milieu naturel où ils ont vécu (facteurs physico-chimiques du milieu, du climat, de la topographie, de la géographie; concurrence entre les animaux et les végétaux). Pour le paléophytogéographe, toute étude écologique comprend l'analyse des caractéristiques du milieu dans l'aire considérée, ainsi que l'étude des individus et des groupes d'individus en fonction de leur adaptation au milieu en se basant sur des principes évolutifs et d'adaptation d'après le principe de l'habitat (territoire à l'intérieur duquel un individu, une espèce ou un groupe d'espèces ou d'individus trouvent un complexe uniforme des conditions de vie auxquelles ils se sont adaptés). C'est ainsi que la paléoécologie est basée sur des résultats de caractère paléogéographique et paléoclimatologique. La plupart des fossiles marins employés dans les travaux stratigraphiques (Foraminifères, Ostracodes, etc...) se déposent dans le bassin d'origine et de ce fait ils sont contrôlés par les facteurs écologiques du milieu où ils ont vécu. Par contre, les végétaux se trouvent dans des milieux très différents et le mécanisme du transport de leurs éléments de reproduction modifie les contingences qui existent pour les fossiles animaux et c'est ainsi que des pollenospores fossiles se trouvent déposés dans les faciès très distincts.

Le dépôt des pollenospores n'est pas uniforme dans tous les milieux car les moyens de transport ne sont pas les mêmes pour toutes les espèces et, d'ailleurs, la distribution géographique est différente. Ce fait est utilisé par les géologues pour déterminer les lignes de séparation entre les différents milieux de dépôt.

Dans les analyses palynologiques, il est courant de trouver à côté des pollenospores d'autres éléments qui peuvent nous aider à faire des déterminations écologiques précises. Dans le cas de l'étude des sédiments lagunaires, lacustres et marins, les pollenospores se trouvent associées à des Diatomés et à une microfaune constituée par des Foraminifères, des Hystrichosphères, des Dinoflagellés, des Péridinés, Chitinozoaires et d'autres individus de type planctonique. Ce fait a permis d'élargir le champ d'action de l'analyse palynologique du milieu continental au milieu franchement marin (132). Actuellement l'étude palynologique ne se limite pas aux pollenospores car elle essaie d'obtenir le plus grand nombre d'informations à partir des autres palynomorphes. Généralement, chaque type de sédiment présente un type de microfaune. Ainsi, dans les sédiments franchement marins la microfaune est d'origine pélagique, tandis que dans les sédiments paraliques la microfaune est d'origine benthonique (donc de valeur stratigraphique réduite); quant aux sédiments continentaux ils n'ont généralement pas de microfaune importante (128). La microfaune est, à l'exception des Foraminifères à coquilles siliceuses ou calcaires, extraite par les méthodes palynologiques et en général des mêmes échantillons; ceci permet de la comparer avec la microflore; en même temps les frais d'extraction et la durée de préparation et d'étude sont réduits. Ces palynomorphes sont un complément des pollenospores car ils sont trouvés en bon état dans des échantillons de type marin parfois dépourvus de microflore ou bien dans des sédiments où cette dernière n'est pas abondante (62, 127).

Dans l'étude des couches de charbon et des sédiments de l'Antarctique faite par SCHOPF en 1962 (315), les plantes fossiles ont permis d'expliquer plusieurs problèmes concernant la géologie et l'écologie, étant donné que les

restes fossiles d'animaux sont extrêmement rares. Le charbon (le seul potentiel économique de ce lieu) étant un sédiment phytogénétique, les travaux se sont dirigés vers son étude. Malheureusement, à cause de son haut degré de métamorphisme, il n'a pas été possible d'extraire sa flore. Pourtant, grâce aux couches argileuses et un peu charbonneuses qui limitent les niveaux de charbon, on a pu obtenir des restes végétaux qui ont donné des indications d'une grande valeur paléoécologique, surtout vis-à-vis des conditions nécessaires qui ont dû exister dans ce lieu pour permettre la croissance de plantes qui permirent la formation des couches de charbon. D'après la microflore, il a été possible de calculer l'âge approximatif (Carbonifère Sup.-Trias) des couches, d'acquies une opinion sur le climat et de faire des corrélations. Il a été également possible d'expliquer quelques problèmes de caractère tectonique et métamorphique.

Quand il faut faire des interprétations de caractère écologique d'après une étude palynologique, il est nécessaire de tenir compte (15- 128- 132- 275- 324). :

- 1- de la macroflore, qui n'a pas forcément une très grande relation avec la microflore qui lui correspond.
- 2- des plantes de genres différents qui peuvent produire du pollen et des spores en quantités très inégales.
- 3- de certains types de pollenospores qui peuvent être détruits pendant ou après leur dépôt et même pendant les processus de laboratoire.

Il faut aussi considérer que les moyens de dissémination ne sont pas les mêmes pour tous les types de pollenospores et que, certains d'entre eux sont abondants dans leur aire d'origine tandis que d'autres sont relativement plus abondants loin d'elle.

D'autre part, il est nécessaire de connaître d'une façon du moins approximative les caractéristiques écologiques des espèces de plantes qui ont produit les pollenospores trouvés car une très grande partie de la précision de l'étude de paléoécologie dépend de ce fait.

Quelques pollenospores peuvent aussi indiquer le faciès, c'est-à-dire que les plantes ou leurs associations dépendaient de certaines conditions écologiques qu'il faut bien interpréter.

Les palynomorphes associés aux pollenospores sont de très grande utilité comme indicateurs du milieu de dépôt et un grand outil paléogéographique. Enfin, il est nécessaire de faire une relation entre tous les points qu'on vient de voir et les interprétations de caractère géologique général (pétrographique, sédimentaire, tectonique, etc...).

VIII .- G E O L O G I E

L'application de la palynologie dans la géologie se trouve dans la géo-chronologie, la stratigraphie, la sédimentologie, la tectonique et la géologie appliquée.

A.- GEOCHRONOLOGIE

Quand il est nécessaire de dater les roches d'une section stratigraphique quelconque, on peut employer deux sortes de dates : les dates relatives et les dates absolues.

Le procédé à suivre dans le premier cas est simple : les couches les plus

profondes, en séries normales, sont les plus anciennes; les filons et les autres roches venues de l'intérieur de la terre couperont les roches déjà existantes. Parfois, la datation par cette méthode n'est pas facile à faire à cause des phénomènes de caractère sédimentaire (discordances, hiatus) ou tectonique (plis, failles, etc...), c'est alors qu'on a intérêt de recourir aux fossiles.

La chronologie absolue, en Géologie, peut être faite par deux méthodes : la première se base sur le comptage des cycles de dépôts annuels (parfois les cycles solaires de 11 ans) représentés dans certains sédiments; la seconde utilise les méthodes radioactives.

L'étude des fossiles peut avoir trois buts principaux (42 a) :

- 1- comprendre l'évolution de la vie à travers les temps géologiques,
- 2- comprendre les conditions du milieu,
- 3- dater les couches sédimentaires.

Selon le but poursuivi, il faut étudier des groupes différents de fossiles. Pour comprendre l'évolution, les meilleurs groupes fossiles sont ceux dans lesquels l'organisation est la plus différenciée : les Vertébrés par exemple, ou bien ceux qui présentent le matériel le plus abondant comme les Foraminifères, afin d'employer des bases statistiques. Pour comprendre les conditions du milieu il faut employer des fossiles qui peuvent montrer individuellement ou en groupe le type d'habitat, le climat, et la géographie qui a présidé à leur développement dans un endroit en un point précis des temps géologiques. Nous avons déjà vu que les pollenspores, employés comme fossiles, peuvent nous offrir des données au sujet de l'évolution des espèces végétales ainsi que du milieu.

Pour dater, les meilleurs fossiles sont ceux qu'on appelle fossiles caractéristiques. Le fossile caractéristique idéal doit être :

- 1- de distribution stratigraphique réduite (petit rang stratigraphique),
- 2- de distribution géographique très grande,
- 3- morphologiquement bien caractérisé (c'est-à-dire qu'il doit avoir des caractéristiques morphologiques diverses qui puissent nous permettre de le distinguer facilement des autres individus),
- 4- dans le cas des fossiles marins, indépendant si possible des conditions du fond.

Les espèces peuvent apparaître en un certain point du temps géologique, atteindre un maximum de développement pendant une certaine période de temps et enfin au bout d'un certain moment s'éteindre. La durée totale depuis son apparition jusqu'à son extinction dans le temps géologique s'appelle distribution stratigraphique ou rang de l'espèce.

POCOCK en 1963 (277) écrit : "Dans les branches de la Paléontologie, il est fréquent de ne pas savoir bien communiquer les résultats d'une façon significative et facile aux stratigraphes et spécialistes des autres branches de la géologie. Le Géologue travaille avec des roches, il pense et il écrit en termes d'entités lithologiques définies, qui sont différenciées des autres du point de vue lithologique. Le Paléontologue n'est pas directement en relation avec les unités lithologiques, ses unités se basent sur les changements de l'ensemble d'organismes dûs à l'évolution et aux variations du milieu à travers les temps. Une considération des méthodes de sédimentation nous indique que les unités lithologiques peuvent ne pas avoir une signification de temps; le synchronisme du dépôt ne peut persister dans toute l'aire de dépôt. Ainsi, les unités paléontologiques ne sont pas compatibles et elles ne peuvent pas être corrélées directement; ceci est la cause la plus importante du désaccord entre les paléontologues et les stratigraphes". En effet, le désaccord existe et parfois, c'est un des problèmes des plus difficiles à résoudre, car lorsqu'il s'agit de

dater les roches, le paléontologue et le stratigraphe ne sont pas toujours d'accord.

Or, quand on emploie les pollenospores comme base pour dater les sédiments le problème réside dans le fait que ces éléments reproducteurs n'ont pas, en général, une distribution stratigraphique courte. Néanmoins, on peut faire la différence entre les spores de grande ou de petite distribution stratigraphique et même trouver des espèces qui peuvent être considérées comme des fossiles caractéristiques (15, 49). La grande distribution verticale des pollenospores implique la nécessité d'employer, pour dater un sédiment, non pas une espèce unique de spores ou de pollen mais des espèces en association. Ces associations de pollenospores peuvent caractériser une ère, une période, une époque ou un âge géologique. Les associations caractéristiques de pollenospores doivent être datées et corroborées d'après les sédiments déjà datés grâce à la faune. Or, les localités types des subdivisions géologiques se trouvent en Europe et elles ont été datées d'après la faune marine. Aussi, lorsqu'il s'agit de dater les sédiments dans d'autres continents, on se trouve devant des problèmes de synchronisme car apparaissent alors toutes les autres difficultés concernant la migration et l'évolution des espèces. On a plusieurs fois trouvé, une différence d'âge entre les espèces européennes et les espèces américaines, différence qui a été attribuée à la durée de la migration. Néanmoins, POCCOCK en 1962, pense qu'une espèce peut apparaître dans le Jurassique Supérieur en Europe et être retrouvée jusqu'au Crétacé en Amérique du Nord; ceci n'indique pas que la migration a eu une durée de toute une période géologique mais simplement que les conditions du milieu ont été favorables à la migration jusqu'au Crétacé.

Quand il n'y a pas de relations de faune, les corrélations paléontologiques intercontinentales ne peuvent pas être certaines. Ainsi, en Colombie, les limites Campanien-Maestrichtien et Oligocène-Miocène sont douteuses (154). Les associations caractéristiques des pollenospores sont déjà connues mais, étant donné qu'il faut les dater et les étalonner avec des sédiments datés par leur faune, il est très facile d'imaginer que lorsque cette dernière n'est pas sûre, l'âge des associations palynologiques ne l'est pas non plus. Dans ce cas, il ne reste plus pour obtenir un âge correct des sédiments, qu'à faire les corrélations par l'intermédiaire des fluctuations climatiques représentées sur les diagrammes palynologiques.

Les deux règles suivantes (324) peuvent être prises comme base dans l'interprétation de l'âge d'un sédiment (ou d'une série de sédiments) d'après la microflore :

- 1- seuls les niveaux d'apparition des espèces caractéristiques doivent être employés dans la détermination de l'âge. Celui-ci se définit comme le niveau le plus ancien dans lequel une espèce fait son apparition dans la section stratigraphique. Quand il n'y a pas de couches plus anciennes dans celle-ci, les espèces de grande distribution verticale font leur apparition dans des couches plus récentes que celles dans lesquelles elles apparaissent réellement.
- 2- seules les espèces les plus récentes de la section stratigraphique à dater sont employées pour déterminer l'âge.

Des difficultés dues au manque de zonalité des diagrammes peuvent se présenter; ces difficultés peuvent être amenées par une végétation de caractère local très abondante, par l'influence des faciès sur le contenu de pollen d'un sédiment ou par une pollution des échantillons ou bien par des problèmes de remaniement.

L'âge absolu des sédiments de moins de 50 000 ans peut être calculé par la

méthode du radiocarbone avec une très grande précision. Les sédiments les plus anciens quand il s'agit de les dater et de les corrélés, présentent des problèmes; néanmoins les méthodes radioactives (Rubidium-Strontium, Argon-Potassium, Sodium-Plomb) peuvent nous donner une date très valable des sédiments.

La pollution et les remaniements sont des problèmes très difficiles à résoudre quand il s'agit de dater les sédiments. Ces problèmes et éventuellement celui de l'âge peuvent être résolus grâce à l'étude de la fluorescence des pollen et des spores fossiles (135). La fluorescence des pollenospores sous l'action de la lumière ultraviolette est due à la composition chimique de la sporopollenine; un type de pollen ou de spore d'un âge donné présentent sous l'action de la lumière ultraviolette une couleur caractéristique. Il existe une relation entre cette couleur et la position taxonomique des pollenospores et il y a aussi une variation de couleur selon l'âge géologique. Cette méthode permettra sans doute de faire des corrélations.

B.- STRATIGRAPHIE ET SEDIMENTOLOGIE

La stratigraphie étudie la succession et la chronologie des roches stratifiées en se basant :

- 1- sur les types de vie des différents temps géologiques,
- 2- sur les changements évolutifs des plantes et des animaux fossiles,
- 3- sur les changements de la distribution des terres et des mers interprétés d'après le caractère et le contenu en fossiles des roches sédimentaires. Les spores et les grains de pollen sont employés comme fossiles dans l'étude stratigraphique.

La sédimentologie étudie les lois de la sédimentation et l'origine des dépôts sédimentaires.

La palynologie, à ses débuts, eut un caractère purement académique qui progressivement se dirigea vers l'intérêt pratique. La première application de cette science fut de type stratigraphique. On a déjà dit précédemment qu'une datation précise ne peut pas être faite d'après la microflore trouvée dans une roche. Néanmoins, la palynologie a déjà montré sa grande utilité dans la stratigraphie comme un moyen excellent de diviser en zones les séquences sédimentaires continentales. Pour faire une division en zones précises, il faut se baser sur les variations quantitatives de la microflore dues à des facteurs climatiques. De cette manière les ensembles de certains pollenospores peuvent être d'excellentes unités paléontologiques de base (15). En effet, les pollenospores permettent de donner une division très détaillée, en zones et en sous-zones des sédiments : division qui, même par des moyens faunistiques, n'est pas possible; VAN DER HAMMEN en 1954, a divisé le Maestrichtien de la Colombie en 3 zones et 8 sous-zones.

Si l'on veut se servir de la palynologie exclusivement comme un outil stratigraphique qui puisse nous aider à reconnaître une série de sédiments et à établir des corrélations, il est nécessaire de faire un catalogue des principaux types morphologiques de pollenospores trouvés et d'indiquer leur fréquence à chaque niveau. Il n'est même pas nécessaire de les classer ou de trouver leur affinité botanique, mais seulement de les indiquer avec une étiquette artificielle quelconque ou avec un numéro d'ordre (85). Evidemment, si l'on veut obtenir des renseignements au sujet de l'évolution de la flore, du climat, etc..., il faut alors trouver leur affinité botanique et d'effectuer des études biométriques etc...

Les études stratigraphiques peuvent être divisées en deux parties : études

de caractère local et études de caractère régional et continental.

Dans les couches de charbon et les dépôts de même type, les pollenospores peuvent être dominés par les éléments de caractère local (autochtone); ces éléments ont une application stratigraphique d'ordre local. Les sédiments clastiques déposés sous une couche d'eau; à une certaine distance des aires de croissance des plantes, sont très importants dans les études de caractère régional ou continental; en effet la dissémination des pollenospores dans ces sédiments qui est réalisée par l'eau ou l'air, se prête à un classement et une homogénéisation. C'est ainsi qu'un échantillon de ce type de sédiments peut contenir une microflore qui représente la flore des aires voisines de production (15).

La corrélation stratigraphique a pour but de déterminer, d'après les résultats des études paléontologiques et physiques, l'équivalence en âge géologique et en position stratigraphique de différentes formations, plus ou moins voisines, ou bien d'autres unités stratigraphiques dans des régions éloignées. Parfois la corrélation de deux terrains s'avère difficile à cause du manque de faune ou de macroflore qui puisse servir de base paléontologique (321); lorsque la base paléontologique n'existe pas, il faut chercher les données physiques comme l'étude soit des lithofasciès, soit pétrographique, soit géophysique, ou encore, l'étude des oligo-éléments, des minéraux lourds, ou bien de la granulométrie des sédiments clastiques, etc. Dans le domaine paléontologique, la palynologie a trouvé une place très importante comme nouvelle méthode de corrélations stratigraphiques. En tant qu'outil stratigraphique la palynologie a eu ses premières applications dans la corrélation et plusieurs fois, elle a été employée comme le dernier recours alors que toutes les autres méthodes avaient échoué. Actuellement, la méthode palynologique est très utilisée car elle donne des résultats rapides qui peuvent servir comme confirmation des autres méthodes employées généralement pour les corrélations et la datation des sédiments. La palynologie ne doit pas être considérée toujours comme un critère stratigraphique absolu applicable de façon arbitraire dans tous les cas, mais comme un moyen supplémentaire d'investigation.

De même que tous les autres fossiles, les spores et les grains de pollen envisagés stratigraphiquement ne doivent pas être utilisés individuellement mais en forme d'associations ou de groupes. Leur étude stratigraphique donne origine à des diagrammes et des courbes qui peuvent être typiques d'une couche, d'une formation ou d'une série de sédiments, d'une époque, d'une période ou d'une ère géologique.

En 1916, VON POST corréla 2 couches de tourbe éloignées de 250 m grâce à la palynologie. En 1920, LUNDQVIST corréla ainsi 2 autres couches éloignées de 13 km, et un an plus tard, ERDTMAN montra que des corrélations de plus de 100 km peuvent être faites à l'aide de la palynologie (119 a). Actuellement, les corrélations de caractère intercontinental ont été faites afin de montrer que les âges glaciaires du Pleistocène ont été synchrones dans le monde entier (151).

S'il était possible d'enregistrer les changements synchrones de la végétation à travers toutes les époques géologiques d'une manière détaillée, on pourrait s'en servir comme une excellente base de corrélations exactes de temps et ceci dans un domaine mondial. La palynologie semble être la science la plus adéquate pour résoudre les problèmes des corrélations intercontinentales car elle travaille avec un matériel très abondant dans les sédiments tant continentaux que marins, ce qui permet de faire des investigations statistiques qui peuvent être vérifiées normalement (151).

VAN DER HAMMEN, 1957-1960, a résumé en 3 points la manière d'effectuer des corrélations de caractère local, régional et mondial :

- 1- s'il existe, pour une section géologique ou une partie de cette section, des échantillons en quantité suffisante, les corrélations dans de grandes aires de caractère continental peuvent se réaliser sur les fluctuations climatiques enregistrées (excluant les variations de caractère local) d'après les diagrammes palynologiques, à l'aide des associations caractéristiques des pollenospores, surtout du pollen. Ces corrélations peuvent être très exactes et détaillées.
- 2- si le nombre d'échantillons n'est pas suffisant, pour enregistrer des fluctuations climatiques, les corrélations doivent s'effectuer sur la base des associations caractéristiques seulement. Les corrélations réalisées de cette manière sont très exactes mais les unités indiquées ne peuvent pas être, en général, plus détaillées que de l'ordre de l'Eocène Inférieur, de l'Oligocène Moyen etc...
- 3- les corrélations basées sur quelques espèces de pollen et des spores, sans tenir compte des associations caractéristiques, sont très incertaines et elles ont un caractère local; elles ne peuvent être réalisées seulement qu'en certains cas très spéciaux.

Quant on utilise les changements climatiques comme base de corrélation, il est nécessaire de tenir compte du fait que, lorsque ces changements sont importants au début d'une époque, d'une période ou d'une ère glaciaire, ils se présentent le plus souvent avant les changements lithologiques qui indiquent la limite des formations (148, 179 a).

D'après les changements climatiques enregistrés sur les diagrammes palynologiques, JARDINE et MAGLOIRE ont déterminé, en 1963, des corrélations entre les séries sédimentaires de deux bassins, l'un du Sénégal et l'autre de la Côte d'Ivoire éloignés de 1500 km. Les études de VAN DER HAMMEN en 1954-57-60-64, de BURGL en 1959 et de BURGER en 1966, ont montré que les changements climatiques synchrones en Colombie, en Hollande et en Guyanne britannique peuvent être utilisés comme base des corrélations.

Les corrélations intercontinentales basées exclusivement sur des espèces ou des associations caractéristiques sont très rares car les espèces végétales ont évolué généralement d'une façon différente sur les divers continents. Néanmoins, les études de PIERART en 1958, sur les mégaspores du Permien du Katanga ont montré qu'elles sont similaires à celles du même âge du Brésil étudiées par DIJKSTRA : "les mêmes espèces se trouvent dans les gisements et leur état de conservation est identique. Les espèces abondantes et communes du Brésil sont les mêmes que celles du Katanga." Des corrélations du même type ont été essayées par SCHOPF en 1961 pour les associations de pollenospores trouvées dans les gisements houillers de l'Antarctique, afin de trouver une similitude avec les gisements de l'ancien continent de Gondwana.

Dans le cas des corrélations des veines de charbon, la palynologie a été de toute première utilité dans beaucoup de pays. Dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais, en France, les corrélations des veines ont beaucoup aidé à résoudre des problèmes de caractère structural. On a effectué des corrélations sur de plus de 47 km. Malheureusement, il n'est pas très facile d'extraire les pollenospores du charbon de moins de 25% de matières volatiles; dans ce cas, il faut s'adresser à l'étude des stériles de composition très variée, qui limitent les veines (54).

On a déjà vu l'intérêt de l'étude des éléments planctoniques trouvés dans certains sédiments avec les pollenospores. Si nous faisons leur étude statistique, les diagrammes obtenus nous indiqueront leurs variations verticales et horizontales. Ils présentent également un intérêt dans les corrélations car ils n'ont pas une très grande influence dans les changements des faciès représentés par les changements lithologiques (62, 127). Une grande quantité de ces or-

ganismes ont des caractéristiques particulières suffisantes pour faire d'eux des éléments de valeur stratigraphique. Leur distribution horizontale est très grande et leur milieu peut être marin, d'eau douce ou bien littoral; actuellement, dans certains endroits, ils sont si nombreux qu'ils sont à l'origine de la phosphorescence de la mer et ils colorent l'eau et la rendent parfois toxique.

L'étude du Flysch présente plusieurs difficultés lorsqu'il s'agit de la corrélérer et de le dater. L'étude palynologique aide dans ce cas à connaître l'évolution verticale de la microflore qui s'avère de grande utilité stratigraphique, ainsi que tectonique, paléontologie et écologique (13). Certaines roches siliceuses stratifiées peuvent être utiles du point de vue stratigraphique lorsqu'il s'agit de faire des corrélations principalement parce qu'elles forment des horizons bien caractéristiques dans les séquences stratigraphiques. Quelques unes présentent un intérêt palynologique car elles contiennent des spores et du pollen. Dans les spongolites, on trouve le Chert qui désigne certaines de ces roches à faciès siliceux, cette roche en plus des nombreuses spicules des éponges présente une grande quantité de restes organiques et parmi eux les spores et les grains de pollen. A cause de la nature siliceuse, il est très difficile de les extraire et pour cela il est nécessaire de les étudier en lames minces (342).

Les changements quantitatifs dans les graphiques palynologiques peuvent nous montrer des changements de la végétation. Lorsqu'on fait une étude statistique des pollenospores des sédiments, mais sous forme de densité absolue, il faut tenir compte du fait que les variations de cette densité sont en relation avec les changements de la sédimentation. Lorsque la sédimentation s'est faite rapidement, le contenu brut des pollenospores diminue dans le sédiment si la "pluie" des éléments est constante; au contraire, lorsque la sédimentation s'est faite lentement, le contenu brut des pollenospores augmente. L'étude palynologique des éléments du sous-sol de la ville de Mexico (46) a montré que la densité brute du pollen était inversement proportionnelle au rythme de la sédimentation et les auteurs ont trouvé que les grandes quantités de sédiments ont été des produits pyroclastiques résultant des différentes périodes d'activité volcanique.

C.- TECTONISME

Dans la même étude palynologique des sédiments lacustres du bassin de la ville de Mexico, en plus de l'information concernant le climat et l'activité volcanique, on a obtenu une information de caractère tectonique. FOREMAN dit : "sans l'aide de l'analyse du pollen il n'aurait pas été possible de faire la différence entre les changements de la sédimentation dus au dessèchement du lac et ceux dus à l'activité tectonique. Quand les changements indiqués ont eu lieu dans les sédiments et que le pollen eu montré que le climat restait humide, on a alors déduit une cause d'origine tectonique. Lorsque les changements se sont présentés au moment même où est apparu le pollen des plantes de climat sec, alors on a déduit que le climat a été la cause des dits changements".

D.- GEOLOGIE APPLIQUEE

La palynologie est très utile dans plusieurs domaines de la géologie appliquée. Principalement, dans la géologie des mines et dans la géologie

du pétrole. Dans le domaine de la prospection de l'eau souterraine, cette science commence à être appliquée.

Dans la géologie des Mines, la palynologie trouve des applications dans l'industrie du charbon, où elle est utilisée comme un moyen de datation des veines : elle sert à les corrélérer et à étudier la paléogéographie et l'évolution de la flore.

En général, la palynologie s'applique dans la plupart des études des sédiments. Dans l'industrie minière, il y a des gisements d'origine sédimentaire tels que : les évaporites, les diatomites, les bauxites, le kaolin, les dépôts de manganèse, de fer et certains gisements résiduels de minerai.

Dans l'étude des évaporites (sel gemme, gypse, sels potassiques, anhydrite), la palynologie est très importante puisque dans ce type de sédiments on ne trouve pas d'autre fossiles que les pollenospores. Aussi, la palynologie est-elle le seul moyen de dater et de corrélérer ces sédiments (14, 133).

Les études faites dans les gisements de bauxite ont permis d'employer la palynologie avec un grand succès. Grâce à cette méthode stratigraphique, on a daté les gisements et on a pu diviser en zones les sédiments supérieurs et inférieurs. Ceci permet de faire une exploration systématique à l'aide de sondages. C'est ainsi que quand on connaît bien la zonalité palynologique des sédiments supérieurs et inférieurs, il est facile de limiter la profondeur des sondages et de limiter les gisements (163).

Les dépôts minéraux d'origine sédimentaire peuvent être datés avec la méthode palynologique. En général, les minerais constitués par des oxydes ne renferment pas une grande quantité de matériel palynologique; néanmoins, on peut trouver des petits lits argileux qui peuvent en renfermer. KEDVES et SIMONCSICS en 1964 ont étudié les minerais de carbonate de manganèse en Hongrie et ils ont pu suivre l'évolution verticale du gisement.

Dans l'industrie pétrolière l'application de la Palynologie s'est accrue depuis la seconde guerre mondiale. La plupart des grandes compagnies l'utilisent actuellement. La grande réussite de cette science dans l'industrie du pétrole a comme base le fait de trouver le matériel palynologique dans des sédiments marins et continentaux et de présenter la possibilité de faire des corrélations avec des sédiments de faciès très différents dépourvus de fossiles marins; avec l'aide de l'étude du microplancton on peut faire des études d'une grande précision. Les palynomorphes sont utilisés pour déterminer les anciennes lignes de côte et les sédiments clastiques qui présentent un grand intérêt pour ce qu'on appelle "des pièges d'huile".

L'emploi de la palynologie dans la prospection de l'eau peut être avantageux si l'on connaît les sections stratigraphiques de plusieurs endroits ainsi que leurs zones palynologiques. Par cette méthode, on peut éclaircir des doutes au sujet de la corrélation des couches aquifères. Palynologiquement, il est facile de reconnaître les sédiments supérieurs et inférieurs d'une couche aquifère et d'établir des corrélations (163).

IX .- CRITIQUE DE L'EMPLOI DES POLLENOSPORES EN TANT QUE MICROFOSSILES

Les études palynologiques peuvent s'effectuer à partir des spores et du pollen des plantes actuelles ou fossiles. Lorsqu'on emploie ces éléments reproducteurs en tant que fossiles, ils peuvent être utiles pour :

- 1- comprendre l'évolution de la vie végétale à travers les temps géologiques,
- 2- comprendre les conditions du milieu naturel où les plantes ont vécu,
- 3- dater les sédiments, les corrélés et connaître leurs conditions de dépôt.

Voyons quels sont les avantages et les inconvénients que présente une étude palynologique d'après les pollenospores fossiles.

A.- AVANTAGES

1- A cause de la composition chimique de leurs parois, les spores et les grains de pollen ont une très grande résistance aux agents naturels qui peuvent les détruire. A l'exception des hautes températures (et probablement des milieux de dépôts oxydants), les pollenospores peuvent se conserver indéfiniment. Dans certains cas, ils demeurent à l'état fossile même en des points où d'autres organismes ont été détruits.

2- A cause de l'énorme production de ces éléments reproducteurs et à cause de leurs moyens de dissémination perfectionnés, on les trouve dans des sédiments déposés dans des milieux très divers. On les rencontre dans des horizons de tous les âges géologiques à partir du Précambrien.

3- La présence de pollenospores dans tous les types de faciès, permet de les utiliser comme base de corrélations. La distribution horizontale de ces éléments est très grande; la distribution verticale est variable selon les espèces; ce fait permet l'emploi des méthodes statistiques pour diviser les sections stratigraphiques en zones et connaître leur distribution géographique. Etant donné que la distribution des pollenospores est très grande dans les sédiments, le chercheur peut se faire une idée plus ou moins précise de la végétation existante dans le temps et dans l'espace.

4- Les pollenospores se trouvent dans des sédiments d'habitude azoïques, continentaux, paraliques; ceci permet de dater et de corrélés des terrains.

5- Dans les études géologiques de reconnaissance, on est obligé la plupart du temps, de dater et de corrélés les sédiments d'une façon grossière; dans ce cas, l'étude palynologique offre une information digne de confiance. Les corrélations de caractère local, régional ou intercontinental peuvent se faire avec une précision très acceptable à l'aide des associations caractéristiques des pollenospores et des changements climatiques déduits des diagrammes palynologiques.

6- Les diagrammes palynologiques qui résultent de l'étude statistique sont des instruments de travail très employés et appréciés par les géologues, géographes, paléobotanistes et botanistes. Le géologue et le géographe peuvent obtenir des déductions chronologiques, stratigraphiques, sédimentologiques, tectoniques, paléoclimatologiques, paléoécologiques et paléogéographiques de grande valeur pratique; le botaniste trouve une histoire évolutive de la végétation dans un lieu donné. Pour le paléobotaniste les diagrammes peuvent lui montrer une façon de confronter ses résultats avec les ensembles de la paléobotanique macroscopique.

7- Généralement, il faut une petite quantité de sédiments par échantillon et le grand nombre de pollenospores obtenu sera suffisant pour réaliser une étude palynologique; les échantillons peuvent être prélevés facilement.

8- Dans l'analyse palynologique d'un certain type de sédiments, il est courant de trouver, en plus des pollenospores, d'autres éléments organiques qui peuvent avoir une grande utilité pratique. A partir de ces palynomorphes, l'étude palynologique a étendu son champ d'action jusqu'aux milieux franchement marins. Ces éléments sont un complément des pollenospores puisqu'ils sont trou-

vés en bon état dans des sédiments qui, parfois, n'ont pas de pollenospores ou en contiennent en petite quantité.

B.- INCONVENIENTS

1- La palynologie ne date les sédiments qu'à condition que les associations caractéristiques des pollenospores soient comparées, et corroborées d'après des sédiments déjà datés par de la faune.

2- La faune marine caractéristique et les pollenospores caractéristiques n'ont pas la même valeur en tant qu'outils stratigraphiques de caractère écologique. La faune marine est un matériel autochtone tandis que les pollenospores sont un matériel allochtone.

3- Dans la faune marine, l'écologie du milieu de dépôt détermine le plus souvent les formes caractéristiques. Les pollenospores sont indépendants du milieu de dépôt.

C.- CONCLUSION

L'emploi des pollenospores (palynomorphes en général), en tant que fossiles, présente des avantages suffisamment nombreux pour nous montrer les grands intérêts de la palynologie comme science appliquée, ainsi que son grand champ d'action. Les désavantages ne sont pas nombreux et les problèmes qu'ils posent peuvent être résolus si le chercheur s'appuie sur des observations minutieuses et cherche l'aide d'autres domaines de la science.

" La taxonomie n'est pas un simple inventaire descriptif des objets donnés d'avance. C'est une science très vivante qui s'efforce, à chaque instant, de s'améliorer et même de se rectifier en fonction des connaissances nouvelles acquises dont elle constitue, par conséquent, l'un des exposés synthétiques possibles. Mais les ambitions du taxonomiste vont encore plus loin car il souhaite établir ses classifications en tenant compte non seulement du maximum des caractères, mais encore des relations de parenté réelles, c'est-à-dire de la phylogénie."

Guinochet.

CHAPITRE CINQUIEME

UNE NOUVELLE CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE SYSTEMATIQUE
POUR LES POLLENOSPORES FOSSILES

PLAN GENERAL DU CHAPITRE CINQUIEME

- I .- INTRODUCTION
- II .- EXPOSITION DES PROBLEMES
- III .- LES SOLUTIONS
 - A.- SOLUTION BOTANIQUE
 - B.- SOLUTION MORPHOLOGIQUE
 - C.- SOLUTION MIXTE
- IV .- LES PRINCIPALES CLASSIFICATIONS
- V .- LES DIFFICULTES POUR AVOIR UNE BONNE CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE
- VI .- LA NOMENCLATURE
- VII .- BASE POUR UNE NOUVELLE CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE DES POLLENOSPORES
- VIII .- LE CHOIX DE LA TERMINOLOGIE, DE LA NOMENCLATURE ET DE LA CLASSIFICATION DEFINITIVE
- IX .- TAXONOMIE
 - A.- LES GROUPES
 - B.- LES DIVISIONS
 - C.- LES SERIES
 - D.- LES GENRES ET LES ESPECES
 - E.- LA CLASSIFICATION UTILISEE.
- I .- INTRODUCTION

Dans l'état actuel de la Palynologie, la terminologie utilisée dans la description des caractères biologiques et morphologiques des grains de pollen et des spores, est très variée; ceci, évidemment, pose un problème pour l'étudiant, pour le jeune chercheur et même pour tous ceux engagés depuis longtemps dans cette partie de la Botanique. Le problème se pose non seulement à cause de



la grande quantité des termes utilisés mais aussi à cause du manque de compréhension entre les divers spécialistes. Néanmoins, à force de travail et de patience, on peut arriver à déceler les termes les plus communément utilisés dans la littérature palynologique mondiale et ainsi, au bout d'un moment, avoir en tête un certain nombre de termes qui représente le lexique de base de la Palynologie. Ce qui précède n'est qu'une introduction afin d'essayer d'entrer dans le monde de la description des principales caractéristiques des pollenospores.

Peu après, lorsqu'on veut appliquer pratiquement les connaissances acquises, d'autres problèmes se posent et, parmi eux, le principal est celui de classer et de nommer les pollenospores du matériel palynologique. C'est peut-être là le problème le plus difficile à résoudre même si, dans d'autres domaines palynologiques, on est allé très loin, par exemple dans le domaine des applications.

Les problèmes sont plus complexes que l'on pense car ils sont très intimement liés entre eux. Le problème de la terminologie est lié à celui de la nomenclature et à celui de la classification; il faut donc les résoudre un à un, mais toujours en pensant à l'ensemble. Or, on sait qu'une bonne classification a besoin d'une nomenclature appropriée et celle-ci d'une terminologie simple; il est bien connu qu'une classification de ce type n'existe pas, malgré le nombre assez grand de classifications existantes.

La solution semble simple car il faudrait uniquement se mettre d'accord pour utiliser l'une des classifications déjà existantes en essayant de la corriger et de la compléter, ou bien encore il faudrait se mettre d'accord pour nommer une commission internationale capable d'en faire une nouvelle. Mais, faudra-t-il commencer de nouveau à partir de zéro ? Que fera-t-on avec les termes et les noms créés depuis longtemps ? Vont-ils disparaître ? Vont-ils changer ? Toutes ces questions ont déjà été posées et elles n'ont pas encore eu de réponse, pourquoi ? Est-ce à cause de l'orgueil personnel ? Est-ce peut être parce que chacun veut imposer ses idées ? Ou bien a-t-on peur de devoir choisir ? On peut aussi se demander s'il ne s'agit pas du souci de chacun de ne pas détériorer, un peu plus, une situation déjà inquiétante, à moins enfin que ce soit là une négligence générale des chercheurs. A tout cela, il est difficile de répondre car il y a sans doute plusieurs causes réunies, mais ce qui est certain, c'est que le problème de posséder une classification définitive existe nettement, même si parfois dans le domaine pratique, on peut passer outre toute classification. La présence de plusieurs classifications différentes est, à l'heure actuelle, une preuve de l'intérêt des palynologistes.

II .- EXPOSITION DES PROBLEMES

Voyons les problèmes de plus près, essayons de les expliquer et de leur trouver une solution. Au fur et à mesure de l'exposé, nous verrons qu'ils ne sont pas seulement d'un type humain mais d'un type varié.

D'après ce que nous avons déjà vu dans les chapitres précédents, les pollenospores sont les derniers éléments reproducteurs des plantes; ces éléments une fois mûrs se trouvent en liberté, isolés de leur plante mère. Mais à partir de cette séparation, toute relation entre la plante mère et l'élément reproducteur disparaît-elle ? Non, à mon avis, il y aura toujours entre eux des liens plus étroits que l'on ne pense, car pratiquement on peut voir que ces éléments reproducteurs isolés possèdent des caractères très particuliers du type germinatif ou morphologique, qui les rendent susceptibles d'être groupés, ce qui permet de dire avec une grande certitude quelle est leur plante mère même s'ils en sont séparés. Mais il y a toutefois à cela une condition de base qui est de con-

naître la plante mère et son élément reproducteur afin de pouvoir, à partir de l'un, deviner l'autre. Cette condition n'est malheureusement satisfaite que dans le cas des plantes actuelles. Chez les plantes fossiles, le problème est évidemment différent.

Théoriquement les spores et les grains de pollen fossiles doivent s'intégrer dans la classification botanique générale; mais est-ce que toutes les plantes fossiles sont connues? Ont-elles une position définie dans la classification botanique? Ce sont là deux questions qui ont des réponses négatives. Les espèces de plantes fossiles connues en "empreintes" et en "structure" ne représentent qu'une très petite partie de la totalité des plantes mères des pollenspores fossiles. La plupart du temps, lorsque l'on étudie une spore ou un grain de pollen fossile, on a affaire à un élément isolé que l'on ne peut rattacher qu'exceptionnellement à un individu fossile et, plus exceptionnellement encore, placer avec certitude dans une classification générale à base botanique. Ceci est dû à des différences qui portent d'une part sur le pouvoir de conservation de ces deux types d'individus et d'autre part sur leur quantité. Les éléments reproducteurs sont en effet nettement plus résistants aux agents destructeurs que la partie stérile de la plante et par suite sont plus facilement fossilisés que leurs parents; d'autre part, ils sont disséminés en grande quantité à partir de l'élément mère. Ces deux faits entraînent une abondance de spores et grains de pollen dans les sédiments alors que les végétaux stériles sont nettement moins abondants. La relation entre les deux sortes d'individus ne peut être faite que si on a la rare occasion de trouver les éléments reproducteurs "in situ", c'est-à-dire en connection ou en corrélation avec la plante mère. Mais hélas! même dans de telles conditions, la classification naturelle s'avère difficile puisqu'il faut tomber sur une plante fossile susceptible d'occuper une position botanique précise. Donc il y a et il y aura toujours un décalage entre la quantité des espèces de plantes fossiles connues et celles des pollenspores fossiles connues; ce décalage augmente sans cesse depuis les dernières années ce qui est dû sans doute à l'évolution des techniques d'étude et à la différence dans les méthodes d'investigation utilisées pour la macropaléobotanique et pour la palynologie.

Voyons quelles sont les solutions pour les problèmes exposés, mais il faudra d'abord définir ce qu'est une classification. D'après le dictionnaire, c'est là une distribution systématique pour classer des êtres, des objets et des lois découvertes qui ont des caractères communs.

III .- LES SOLUTIONS

A.- SOLUTION BOTANIQUE (Classification naturelle).

Le problème de la parenté des pollenspores fossiles n'est pas uniforme au cours de l'histoire géologique. Au fur et à mesure de l'évolution de la flore, les plantes fossiles présentent de plus en plus de ressemblances avec les plantes actuelles. Il en est de même pour les pollenspores et, plus on monte dans l'échelle géologique, plus on trouve des ressemblances entre les individus fossiles et les individus actuels. Cependant, ce n'est qu'à l'Holocène qu'on trouve une vraie similitude entre les individus, c'est-à-dire dans la toute dernière partie du dernier million d'années des 600 millions de la vie sur la terre. Avant cela, il faut se baser sur des similitudes parfois très légères.

Donc s'il existe une ressemblance entre les pollenspores relativement récents et les pollenspores actuels, on serait tenté pour ceux-là tout au moins,

de les introduire avec une certaine réserve dans la classification botanique naturelle, puis d'extrapolation en extrapolation on pourrait arriver à ramener presque tous les individus fossiles dans cette même classification. En effet, cette solution a fait l'objet de plusieurs essais qui se sont avérés très intéressants, particulièrement pour les grains de pollen fossiles, mais elle est malheureusement difficilement applicable aux spores; en outre, les déterminations par ce procédé sont souvent délicates sinon aléatoires car une classification du type naturel s'efforce de reproduire le système de la nature, ce qui le rende peu applicable la plupart du temps.

B.- SOLUTION MORPHOLOGIQUE (Classification artificielle)

Mais on a déjà dit que, plus les pollenospores fossiles sont anciens, plus ils diffèrent des pollenospores actuels, et par suite plus il est difficile de les rattacher à la classification naturelle, surtout dans le cas des pollenospores paléozoïques et mésozoïques qui peuvent provenir en grande partie de plantes entièrement fossiles pas forcément connues. Donc, un problème se pose, comment peut-on classer ces pollenospores ? La plupart des palynologistes sont arrivés à la conclusion qu'il faudrait utiliser ces individus en tant qu'unité tout à fait indépendante de la plante mère et par conséquent, les ranger en dehors de la classification botanique. C'est ainsi qu'est apparue l'idée de les classer dans une classification dite artificielle. Celle-ci en principe devait les grouper d'une manière provisoire, mais on s'est rapidement aperçu que les pollenospores ainsi classés prennent une valeur propre indépendante de celle de la classification botanique naturelle.

Les bases de cette classification artificielle reposent sur les caractères morphologiques des pollenospores auxquels on a néanmoins ajouté les caractères germinatifs, bien qu'en principe ils devraient être considérés comme botaniques. Dans cette classification morphologique on applique la notion de forme qui avait déjà été appliquée, dès la naissance de la Paléobotanique, par A. Brongniart en 1822; en effet lorsque cet auteur trouvait des empreintes de feuilles qu'il ne pouvait pas rapporter aux plantes actuelles, il leur attribuait des noms génériques nouveaux, créant ainsi depuis très longtemps les "genres de forme" tels que Pecopteris, Neuropteris, etc. A partir d'un tel concept, se dégagèrent automatiquement une nouvelle classification artificielle où toutes les divisions sont également basées sur la forme, ou plus exactement sur des assemblages de caractères morphologiques. C'est ce qui s'est appelé la classification morphologique.

Ce procédé présente d'indiscutables avantages pratiques car il supprime les hésitations lors de la comparaison des pollenospores actuels et des pollenospores mésozoïques; cependant, pour divers auteurs, l'évolution phylogénétique des individus se traduirait chez les organes reproducteurs par une modification de l'ornementation de l'exine et par un changement de la structure de celle-ci (Thompson et Pflug 1953). Dans ce cas, une classification basée sur l'ornementation présenterait un certain intérêt botanique puisqu'elle permettrait de suivre le phylogénie de la forme; on peut dire la même chose du type des appareils germinatifs étroitement liés à certaines divisions naturelles.

Ainsi que nous venons de le voir, le classement des pollenospores fossiles dans des classifications artificielles est donc pratiquement inévitable et c'est le procédé le plus logique quand les individus ne sont pas in situ.

C.- SOLUTION MIXTE (Classification semi-naturelle)

Si la classification artificielle des pollenospores est inévitable, elle n'est acceptée comme définitive que pour ceux qui se servent de la palynologie comme moyen de travail c'est-à-dire pour ceux qui étudient les pollenospores en vue de la palynologie appliquée. Par contre, pour le botaniste elle n'est qu'un escalier qui mène lentement mais sûrement vers une classification naturelle. C'est ainsi qu'une troisième solution se présente à nos yeux, la classification dite "semi-naturelle", basée sur le classement logique des pollenospores actuels et fossiles en tenant compte des impératifs de la classification naturelle et des contingences relatives aux pollenospores fossiles.

IV .- LES PRINCIPALES CLASSIFICATIONS

Les principales classifications de pollenospores peuvent être elles-mêmes classées en trois groupes selon trois idées directrices différentes : celles qui sont pour la solution naturelle, celles qui sont pour la solution artificielle et celles qui essayent de classer les pollenospores en tenant compte des affinités naturelles et des caractères morphologiques.

1.- Nous avons vu qu'en fait la classification naturelle des pollenospores ne peut être appliquée que dans le domaine des plantes actuelles et des plantes fossiles susceptibles d'être identifiées et classées d'une manière précise. Dans le domaine des pollenospores fossiles, cette classification n'est applicable que pour les pollenospores appartenant au Quaternaire et dans le cas où l'on est certains d'avoir identifié des individus provenant de plantes existant actuellement; ceci demande une très grande exactitude dans les déterminations car quand on s'éloigne dans le temps, les similitudes entre pollenospores actuels et pollenospores fossiles se font plus vagues, et le résultat n'est donc souvent qu'hypothétique; la ressemblance morphologique ne doit pas en effet être une base d'identification botanique puisque la faute la plus minime dans l'identification peut être une grande source d'erreur, ce qui est vrai non seulement pour la palynologie mais aussi pour d'autres sciences (Burger 1966). Certains auteurs russes ont toutefois introduit dans les études palynologiques des sédiments du Secondaire et du Tertiaire des noms de plantes actuelles pour nommer les individus qui sont morphologiquement identiques aux individus actuels.

En résumé, on peut dire que cette classification n'est valable que pour les pollenospores actuels et pour ceux du Quaternaire; elle n'a été réellement suivie que par des palynologistes s'occupant des végétaux actuels ou très récents.

2.- Dès la fin du siècle dernier, Reinsch avait eu son attention attirée par les caractères morphologiques des pollenospores fossiles, de même Bennie et Kidston au début du XXe siècle, mais c'est Ibrahim en 1933 qui publie l'une des premières classifications morphologiques, en créant de grandes divisions basées sur des caractères morphologiques. Les classifications morphologiques ont été consacrées aux pollenospores fossiles, sans prendre en considération leur relation botanique car, du fait de la fossilisation, ces individus ont perdu tout leur contenu protoplasmique et ils ne peuvent par suite plus être étudiés que d'après les caractères morphologiques de leur exine.

A la base d'une classification morphologique, on distingue 3 groupes de caractères qui sont soit génétiques (nombre d'individus, type et nombre d'ouvertures germinales), soit d'ordre purement morphologique (ornementation, forme, taille etc.), soit ceux concernant la structure de l'exine. Le premier groupe de caractères est le plus important afin d'être utilisé comme base dans

la classification et il a été ainsi reconnu depuis longtemps. Le second groupe est considéré d'ordre secondaire. Enfin, depuis quelques années, on a commencé à s'intéresser à un nouveau critère concernant la structure de l'exine, critère qui d'après certains auteurs indique dans une certaine mesure le degré d'évolution des individus.

D'après les botanistes, les classifications morphologiques ont le désavantage de ne pas prendre en considération la relation botanique; néanmoins, si le palynologiste le désire, il est facile de mentionner l'affinité botanique possible des pollenospores lors de leur description spécifique. Cependant dans ces classifications les groupes morphologiques les plus importants correspondent parfois aux grandes divisions naturelles; dans les subdivisions d'ordre inférieur, la relation botanique est plus difficile à établir même si parfois on peut fixer la relation des groupes au delà des genres à des familles naturelles avec une certaine précision, comme l'ont fait Couper en 1958 et Pocock en 1962.

Après Ibrahim qui, en 1933 créa l'une des premières classifications morphologiques. Naoumova proposa en 1937 un rangement des spores primaires très logique et très pratique en basant les principales divisions sur la présence ou l'absence d'une zone. En 1953, Thompson et Pflug utilisent les groupes morphologiques d'Ibrahim comme base de leur classification des pollenospores tertiaires, mais en utilisant les classes morphologiques d'Iversen et Troels-Smith (1950). Sur ces bases, Potonié dès 1952 recherche un rangement logique des pollenospores fossiles, mais en 1954, en collaboration avec Kremp, il réorganise et complète la classification des pollenospores primaires, en ajoutant une très importante description de la plupart des genres et des espèces connues. La même année, Pant publie une classification d'ensemble très claire des pollenospores fossiles en introduisant pour la première fois entre les spores et les grains de pollen, la notion de "prépollen" comme grande division. Par la suite il y a eu un ensemble de classifications basées sur des modifications apportées à la classification de Potonié et Kremp; en 1958, Norem toutefois établit non pas à proprement parler une classification mais plutôt une clé pour l'arrangement des genres des pollenospores fossiles, car il mélange les spores et les grains de pollen, en se basant pour les grandes divisions sur la présence ou l'absence d'appendices.

En 1962, une révision a été proposée par le Laboratoire de Palynologie de la Faculté des Sciences de Lille, dans le but d'homogénéiser et de simplifier la classification des pollenospores fossiles, mais en conservant les lignes générales de la classification de Potonié et Kremp. Cependant, si la classification qui en résulte est plus logique que les autres pour les spores, elle n'est pas suffisante pour les grains de pollen car limitée aux éléments recueillis du Carbonifère du Lias, elle n'englobe pas la totalité des formes de grains de pollen. En outre, elle n'a jusqu'à présente pas été adoptée par la majorité des palynologistes parce que, pour être plus logique, elle modifie des noms de divisions et de genres déjà décrits auparavant donc protégés par les règles de priorité du Code International de la Nomenclature Botanique (I C B N).

3.- Les classifications semi-naturelles sont considérées par beaucoup de gens comme une variation de la classification naturelle car les palynologistes qui les utilisent ont essayé le plus possible de rester dans la classification naturelle tant qu'ils peuvent trouver une relation botanique des pollenospores fossiles. Quand celle-ci n'est pas possible, ils placent les pollenospores dans une classification artificielle sous le nom de "genres de forme". Ces classifications sont parfois très irrégulières car elles manquent de consistance, surtout dans le cas d'un mélange de nomenclature. C'est ainsi que Bolkhovitina, en

1953, utilise une classification "génétique"(naturelle) pour les conifères et les végétaux à fleurs de même que pour les genres des Gymnospermes crétacés susceptibles d'être déterminés par la classification botanique; or, comme il considère que les Phanérogames crétacés étaient les ancêtres de Phanérogames actuels et que certains d'entre eux se sont éteints sans parvenir jusqu'au Quaternaire, il maintient la classification "génétique" dans les classes des Monocotylédones et Dicotylédones, en donnant des descriptions conventionnelles aux espèces dont la détermination n'a pas été possible dans la classification naturelle; enfin il garde la classification morphologique pour le classement des spores des Fougères.

V .- LES DIFFICULTES POUR AVOIR UNE
BONNE CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE

Voyons qu'elles sont les principales critiques que l'on peut faire à la classification morphologique des pollenospores.

La principale est certainement basée sur le fait de grouper dans une même division des éléments provenant de végétaux pouvant être nettement différents du point de vue botanique; réciproquement, les individus d'une même famille naturelle ne figurent pas obligatoirement tous dans une seule division de la classification artificielle. En effet, nous avons déjà vu dans les chapitres précédents que les phénomènes de convergence sont très fréquents surtout à l'échelon des genres. D'ailleurs, du point de vue morphologique, il y a parfois de différences très grandes entre les individus appartenant à de mêmes familles naturelles. Les causes de ces convergences se basent surtout sur les changements naturels ou artificiels des éléments morphologiques.

Si l'on considère d'abord la forme des pollenospores, on voit qu'elle n'est pas forcément stable car elle dépend des conditions de dépôt; heureusement elle n'est pas très importante comme base de classification. Le problème dans ce cas réside dans le fait de trouver des convergences de forme entre individus assez éloignés dans la classification naturelle. Dijkstra en 1955 précise que les macrospores et les microspores du genre actuel Isoetes montrent des formes très différentes car les premières sont tétraédriques et les secondes bilatérales, ce qui nous montre que, même dans un même genre, la forme peut varier beaucoup. Or, dans le cas principalement des spores paléozoïques qui ont perdu leur périspore, ce fait peut donner origine à des classements dans différentes divisions de la classification.

La taille des pollenospores peut d'autre part varier beaucoup chez certaines espèces; mais elle reste dans la classification comme base pour la différenciation de certaines "variétés", et de certaines espèces.

Dans le cas de l'ornementation, les changements sont généralement dûs aux conditions de fossilisation et plus rarement à des variations de maturité dans les sporanges et dans les sacs polliniques. Cependant il faut souligner, que, d'après Knox, l'ornementation des pollenospores est acquise très tôt et seulement les pollenospores complètement cutinisés peuvent être fossilisés. Dijkstra toujours en 1955, indique que les études de Pfiffer sur les macrospores des genres actuels Selaginella et Isoetes ont montré que l'ornementation de la paroi de ces genres ne doit pas avoir une très grande valeur taxonomique car, dans le genre Isoetes il existe des macrospores à paroi lisse d'autres à paroi avec papilles, avec des tubercules, avec des poils, ... etc. Or, chez les pollenospores fossiles trouvés dispersés, le type d'ornementation a déjà une grande importance lors de la détermination des genres.

La fente germinale des spores peut être modifiée sensiblement si les individus n'ont pas atteint leur maturité. A mon avis, c'est là la principale critique

que l'on peut faire à la classification morphologique, car la valeur taxonomique de ce caractère est très grande dans la classification où il définit les plus grandes divisions des spores; en principe celles-ci devraient pourtant avoir la plus grande relation botanique. Donc si ce caractère n'est pas toujours uniforme chez les individus, une relation entre les divisions naturelles et artificielles n'est plus possible. En effet, le problème existe et il a été souligné par plusieurs auteurs. Doubinger en 1959 dit que, d'après les travaux de Horst (1957), les formes se rattachant au genre de forme Torispora Balme présentent tantôt une fente triradiée, tantôt une fente monolète.

Enfin quel que soit le type de classification, l'influence personnelle présente une grande importance dans le classement des individus, surtout au niveau des divisions les plus inférieures. Dans ce domaine, l'échelle des valeurs, lors de la définition de l'importance des différents caractères des individus, varie beaucoup suivant le chercheur. Sans doute l'exemple le plus frappant est celui de l'expérience faite en 1964, tout au moins dans le domaine palynologique, sur l'espèce Lycospora Schopf, Wilson et Bentall décrite par Piérart (272). Cinq personnes ont entrepris l'analyse des individus du genre contenus dans 7 échantillons de charbon (du Namurien, Westphalien et Stéphanien). Chaque échantillon a été macéré par un seul Laboratoire et, après homogénéisation du résidu, on a distribué des lames aux différents observateurs; les échantillons ont été envoyés dans les différents laboratoires sous forme de 2 à 3 lames par échantillon. Ils ont été préparés soit au Centre National de Géologie Houillère (Bruxelles) soit au CERCHAR, soit au National Coal Board de Sheffield. Chaque laboratoire participant a fait un comptage de 100 à 200 individus de Lycospora par échantillon, accompagné de détermination spécifique. Les résultats obtenus pour les différents laboratoires, tant du point de vue qualitatif que quantitatif, sont très différents. Ainsi l'on constate, par exemple, que pour le premier échantillon (Namurien A) un palynologiste a déterminé 22 espèces, tandis qu'un autre n'en a spécifié que 6. Les pourcentages trouvés pour chaque section sont eux mêmes différents, ce qui prouve l'importance des facteurs personnels.

Pour terminer, ajoutons que dans les cas des spores et des grains de pollen sans ouverture visible, c'est presque impossible de définir la véritable appartenance des individus aux deux plus grandes divisions des pollenospores. C'est ainsi que Coquel en 1965 dit avec raison: "il en résulte que l'emploi exclusif en Palynologie des "Sporae dispersae" des termes spores pour le groupe des Sporites et grains de pollen pour les formes des groupes de Pollenites constitue, au sens botanique de ces termes, un abus de langage que, malgré tout, nous nous voyons dans l'obligation de commettre".

VI .- LA NOMENCLATURE

Dans le but d'obtenir une classification morphologique le plus pratique possible, il faut compter sur une nomenclature uniforme dont la précision et la logique sont toujours respectées, et en particulier sur une nomenclature la plus logique possible, dans le cadre de la terminologie morphologique. Si une nomenclature est une collection de termes techniques ou bien seulement l'art de donner d'une manière méthodique des noms aux objets d'une science, elle ne présente que peu d'utilité car, à mon avis, pour être vraiment utile, une nomenclature doit être en relation avec la terminologie appropriée. Ainsi, une nomenclature morphologique doit avoir comme base une terminologie morphologique; à son tour cette nomenclature est à la base d'une classification morphologique. Celle-ci doit être simple et suffisamment descriptive pour pouvoir connaître, avec le seul nom d'un genre, le maximum de renseignements possibles qui pourraient nous donner tout de

suite une idée des individus et de la position qu'ils occupent dans la classification.

Dès le début de la Palynologie, plusieurs nomenclatures ont été utilisées. Néanmoins, dès que l'on a eu l'idée de classer les individus, il a fallu les nommer (ou tout au moins leur donner une lettre ou bien un chiffre qui pourrait les distinguer des autres individus). Certains auteurs ont donné des noms commémoratifs et d'autres encore ont eu l'idée de prendre en considération l'affinité botanique; c'est ainsi que le nom Sporites fut créé par H. Potonié en 1893, afin de donner un nom à l'une des plus grandes divisions des pollenospores. En 1931, R. Potonié rassemble à son tour, les grains de pollen dans la division des Pollenites. Cependant, déjà en 1884, Reinsch avait fait attirer l'attention sur les spores qui portaient une marque germinale en forme de "Y" et leur avait donné le nom de Triletes. Les noms donnés aux grandes divisions des diverses classifications varient souvent même s'ils se basent sur les mêmes caractères morphologiques des pollenospores; ceci est dû surtout à la terminologie descriptive prise comme base de la nomenclature. Ces terminologies appartiennent à 3 écoles celle de Faegri, Iversen et Troels-Smith au Danemark, celle d'Erdtman en Suède et celle de Potonié en Allemagne. Cependant les grands problèmes de la nomenclature s'attaquent principalement aux noms des genres qui sont en quantité beaucoup plus grande que celle des divisions supragénériques.

Les noms génériques ont été donnés d'une manière différente en fonction de la classification choisie.

Les palynologistes qui suivent la classification naturelle (principalement les Russes) utilisent une nomenclature basée sur les noms des genres récents; ainsi, les noms donnés aux genres des pollenospores fossiles appartiennent aux noms génériques botaniques. Simpson en 1936 donne des noms de genres récents aux pollenospores trouvés dans les charbons du Tertiaire d'Ecosse, en ajoutant "cf" au nom générique; ceci paraît-il est à l'origine du "Typ." de la littérature palynologique allemande, pour indiquer l'affinité botanique (273). Ce que l'on peut reprocher le plus à cette nomenclature, c'est le fait d'étendre les genres botaniques actuels aux pollenospores fossiles. En paléobotanique il y a pourtant déjà des précédents et il n'y a pas moyen de les empêcher.

Les palynologistes qui suivent la classification morphologique donnent des noms aux genres de pollenospores, sans prendre en considération leurs affinités botaniques. Dans le cas de noms descriptifs, ils peuvent varier beaucoup en fonction du nombre de racines et du type de celles-ci utilisées pour la construction des mots. D'autres auteurs ont donné des noms abstraits de type commémoratif et d'autres encore ont trouvé plus simple de donner une lettre, un chiffre ou les deux à la fois aux différents groupes de pollenospores.

Dans le cas des noms descriptifs, on a l'avantage de connaître tout de suite l'aspect général des pollenospores groupés dans un genre quelconque ainsi que celui de pouvoir les placer, d'une manière précise ou approximative dans la classification choisie. Le procédé pour la construction des noms est très varié: Ibrahim en 1933 utilise un changement des lettres du radical pour signaler les différents types de fente germinale: la lettre i était réservée au Triletes, o aux Monoletes, et a aux Aletes. Naoumova, en 1937, utilise une nomenclature basée sur des racines placées dans un ordre de priorité, méthode qui a l'avantage de donner des noms descriptifs très clairs. Ce type de nomenclature a été utilisé par Potonié, Thompson et Pflug, Erdtman, Van der Hammen, Kuyl, Faegri, etc.

Quant aux noms commémoratifs, ils sont dédiés à une personnalité, à un lieu etc., dont ils empreignent partiellement le nom. C'est ainsi qu'en 1944 Schopf, Wilson et Bentall appellent Raistrickia un genre de spores en l'honneur de

Raistrick l'un des premiers palynologistes. Cette nomenclature a le désavantage de ne donner aucune idée immédiate sur les individus qui appartiennent aux genres ainsi nommés. Enfin quant à la méthode qui utilise des lettres et des chiffres pour dénommer les pollenospores, elle est peut-être pratique pour placer facilement ces éléments dans les groupes, mais elle demande une connaissance exacte des caractères que doit représenter chaque lettre et chaque chiffre; cette méthode a été utilisée par Raistrick et Simpson en 1933, et par Knox en 1938.

Or, si les types de nomenclature varient beaucoup dans la nomination des genres, ils varient autant au niveau des noms des divisions supra génériques et la faute la plus grave est celle du manque d'uniformité dans les règles de nomenclature, non seulement dans le domaine général mais aussi dans le domaine personnel, car il y a des auteurs qui dénomment leurs noms de genres d'une manière différente : donnant à l'un d'entre eux un nom basé sur le type descriptif, ils donnent à un autre une appellation d'un type commémoratif.

Les palynologistes partisans des classifications semi-naturelles utilisent une nomenclature qui est aussi semi-naturelle. Ils appliquent des suffixes du type "pollenites" ou "sporites" aux noms génériques lorsqu'ils croient avoir une relation entre les pollenospores fossiles et un groupe botanique actuel ou fossile. Lorsqu'ils ne peuvent pas faire cette relation, ils utilisent alors la nomenclature morphologique. D'autres utilisent les noms botaniques des genres pour les genres fossiles dont ils sont certains de l'appartenance; lorsque ceci n'est pas possible, ils utilisent des noms génériques également naturels qui suggèrent une affinité avec des plantes actuelles, en utilisant des suffixes tels que idites, ites, oidites, etc. Cette nomenclature a été utilisée par Couper, Cookson, Potonié en partie, etc. Le grand désavantage de ce type de nomenclature est d'être très difficile à utiliser car on trouve tout un ensemble hétérogène de noms provenant de noms naturels, morphologiques ou encore appartenant à un type semi-naturel; cela ne peut donc donner par la suite qu'une classification incohérente et confuse.

VII .- B A S E S P O U R U N E N O U V E L L E

C L A S S I F I C A T I O N M O R P H O L O G I Q U E D E S

P O L L E N O S P O R E S

En 1956, Thomas van der Hammen cite les deux conditions essentielles, encore valables, pour aboutir à une nomenclature palynologique systématique qui élimine toute espèce de confusion :

1 - Faire que tous les palynologistes forment les noms génériques de la même façon.

2 - Faire que tous les palynologistes utilisent dans la construction du nom des genres et dans leurs descriptions une terminologie uniforme.

A mon avis ces conditions restent et resteront toujours valables si l'on veut arriver à une entente dans le domaine mondial.

La terminologie est un ensemble de termes techniques, ainsi que l'art de les inventer. Or nous avons vu, qu'il y a en palynologie, plusieurs types de terminologies, qui, bien que pas trop nombreux, sont néanmoins suffisants pour amener des confusions. Il y a donc beaucoup de noms qui indiquent la même chose; d'autre part ils sont créés sur des racines grecques ou latines ou bien sur les deux à la fois ou même encore ils sont tirés de la langue anglaise, française

etc... C'est ainsi que pour nommer l'un des types d'ouvertures des grains de pollen, on utilise indifféremment les mots colpus, colpe, colpa, colpo, colpi dont la racine réelle est Kolpos, ou bien encore sillon, fourrow, etc. Heureusement Kremp, dans son ouvrage "Morphologic Encyclopedia of Palynology" paru récemment, nous donne la description des principaux termes utilisés dans l'étude des pollenospores; mais quelle est la terminologie à choisir, puisqu'il faut en choisir une, si l'on veut avoir une nomenclature uniforme qui puisse servir de base à une classification définitive ? La réponse n'est pas difficile à donner car tout le monde sait que la meilleure est celle qui donne les termes les plus simples, les plus uniformément construits, les plus logiques et les mieux définis. Pour avoir une nomenclature palynologique de caractère mondial, il est nécessaire de n'accepter que des dénominations intelligibles pour des palynologistes du monde entier; c'est pourquoi les noms doivent être basés sur une terminologie qui ait pour base des racines latines ou grecques, ayant cependant bien soin de maintenir ces mots dans leurs déclinaisons: mères (*).

Afin de choisir ou de créer la terminologie et la nomenclature qui servira de base à une classification définitive, une Commission Internationale devrait se former, tout en tenant compte des points de vue de tous les palynologistes. Après avoir choisi la terminologie, jugée la meilleure mais qui, éventuellement peut être complétée par des termes appartenant à d'autres terminologies et après avoir obtenu ainsi la base terminologique voulue, on pourrait s'attacher aux problèmes des règles de nomenclature et des lois de la classification.

Evidemment, ceci semble difficile à faire, néanmoins, voyons quelles sont les conséquences si une telle décision était prise. Une fois la terminologie choisie, il faudra créer les règles de nomenclature c'est-à-dire il faudra décider de quelle façon les noms des genres seront construits. Ensuite il faudra garder les noms déjà créés qui seront en accord avec la nouvelle nomenclature et il faudra éliminer ceux qui ne seront plus utiles. Ici se pose le problème le plus délicat, car il faudra à ce moment là rester à l'écart de certaines règles du Code International de la Nomenclature Botanique et surtout de celles qui parlent du droit d'antériorité. Ici il faudra rappeler la remarque faite en 1959 par Alpern quand il souligne que "la règle d'antériorité s'oppose parfois à des changements, même si ceux-ci sont considérés comme souhaitables par les palynologistes, d'où un certain nombre de contradictions dont le botaniste est obligé de s'accomoder mais que le praticien peut surmonter, tout au moins pour son usage personnel".

Mais, si les noms génériques qui ne sont pas en accord avec la nouvelle nomenclature doivent disparaître, leurs auteurs doivent néanmoins garder le bénéfice de leur travail même si de nouveaux noms génériques ont été désignés d'après les nouvelles règles de nomenclature. Il en est de même évidemment, pour les auteurs des espèces. Ceci demandera du temps car le nombre de genres et espèces décrites actuellement atteint un chiffre très élevé; cependant, avec la coopération de tous les auteurs, tout sera plus facile car chacun devra créer les synonymes valables de ses espèces et ses genres décrits auparavant. La Commission Internationale pourrait avoir ici le rôle de coordinatrice ainsi que de réceptrice des nouveaux noms; dans le cas des espèces ou des genres, qui présentent une grande quantité de synonymes, la commission agirait afin de choisir l'auteur qui, à son avis, a donné la meilleure description, le génotype, etc ... Ceci peut-être fait

(*) Il faut cependant faire remarquer ici, qu'en France, l'Académie des Sciences préconise l'emploi de noms français et, quand cela n'est pas possible, elle accepte l'utilisation de termes latins ou grecs qui s'accordent grammaticalement comme des noms français : ex. un maximum, des maximums.

car le même problème de nomenclature a été posé par la Chimie au XVIII^e siècle, à cette époque là, outre les noms impropres donnés aux diverses substances, il fallait encore compter avec la multiplicité des noms attribués à une seule et même substance; quelques savants avaient déjà fait plusieurs essais de nomenclature, lorsque parut en 1787 la méthode de nomenclature chimique proposée par Morveau, Lavoisier, Berthollet et Fourcroy; ce fut la base de la nomenclature actuelle. Bien sûr on pourra dire que cela s'est passé il y a 200 ans et qu'à cette époque, d'une part, le monde scientifique était réduit, d'autre part, le nombre de noms à changer était susceptible d'être facilement revu; tout cela est vrai néanmoins, il est également certain que, maintenant, avec nos moyens techniques, un tel travail peut être fait rapidement si on le veut bien; si cela demande à chaque palynologiste un certain temps de travail personnel, c'est là un temps qu'il retrouvera par la suite lors des publications, car chacun sait que l'on perd temps et argent lorsque l'on s'occupe des longues listes de synonymie.

Enfin comme nous l'avons vu, la classification morphologique est indispensable pour les pollenospores trouvés à l'état fossile, qu'ils appartiennent ou non à des genres de plantes actuelles. C'est ainsi que la nomenclature doit s'occuper des noms donnés exclusivement aux pollenospores trouvés à l'état fossile sans prendre en considération l'âge des sédiments. Donc si on observe cette ligne d'idées, les types pour chaque genre et pour chaque espèce doivent être choisis uniquement parmi ces individus fossiles même s'ils sont représentés chez les plantes actuelles. Et puisqu'il faut tenir compte de l'affinité naturelle des pollenospores dans les études de caractères paléogéographique, phylogénétique, stratigraphique, etc., cette affinité (prouvé ou supposée) doit apparaître dans la description des espèces.

VIII .- LE CHOIX DE LA TERMINOLOGIE, DE LA NOMENCLATURE ET DE LA CLASSIFICATION DEFINITIVE

Le I C B N reconnaît 3 sortes de genres et d'espèces (Pocock 1963) :

- a. Les genres et les espèces naturels basés sur des plantes complètes.
- b. Les organo-genres et organo-espèces, basés sur des parties de plantes, qui peuvent être attribués au système naturel au moins au niveau de la famille.
- c. Les genres de forme et les espèces de forme basés sur des plantes incomplètes ou des parties de plantes, qui ne peuvent actuellement être attribués au système naturel.

D'après ce qui précède, nous voyons qu'en ce qui concerne les pollenospores fossiles, ils ne doivent être considérés ni comme des genres naturels, ni comme des organo-genres si nous voulons avoir une classification morphologique systématique; nous n'avons plus qu'à les considérer comme des genres de forme (f. gen) et comme espèces de forme (f. sp.).

Nous avons déjà vu que du point de vue de la nomenclature, dans le cas des classifications morphologiques, on a utilisé différentes manières de nommer les genres de pollenospores. Néanmoins depuis quelque temps les spécialistes arrivent à la conclusion que la manière la plus sage d'agir est d'utiliser une nomenclature uniforme basée sur une seule terminologie descriptive. Du point de vue pratique la nomenclature proposée par Th. van der Hammen en 1954-1956 est la plus acceptable. Elle donne des noms génériques d'après la terminologie

descriptive d'Iversen et Troels-Smith (1950); ces termes sont utilisés pour désigner les caractères morphologiques de reconnaissance selon certaines règles dont voici les principales :

1 - Les noms des genres artificiels se basent uniquement sur les caractères morphologiques et doivent se construire d'après un schéma uniforme.

2 - Les termes morphologiques utilisés dans la construction des noms génériques sont les termes bien définis d'Iversen et Troels-Smith 1950.

3 - L'affinité ou la relation naturelle possible ou supposée ne doit pas être employée pour la construction des noms génériques.

Parmi les caractères morphologiques utilisés dans la construction des noms génériques, le principal réside dans le type de sculpture des pollenospores; il s'agit là en effet d'un caractère considéré comme constant et qui doit apparaître en premier lieu dans les noms génériques composés du type descriptif.

Dans le cas du pollen, van der Hammen prend comme base des noms génériques les types morphologiques d'Iversen et Troels-Smith 1950 en ajoutant la terminaison ites; ainsi les grains du type tricolpate appartiennent au genre Tricolpites etc... Seulement dans le cas de genres très nombreux, il utilise le type de sculpture comme base des sous-genres; ainsi les espèces du genre Tricolpites à sculpture réticulée, appartiennent au sous-genre Retitricolpites. Dans le cas de grains à plusieurs types de sculpture, il faut considérer que :

1 - Ont priorité dans la nomenclature les éléments de sculpture réellement positifs (les épines ont priorité sur les perforations).

2 - Parmi les différents types d'éléments de sculpture positive, les éléments prédominants ont priorité.

Or, les noms des espèces doivent être binominaux et le second nom doit rappeler une caractéristique du grain ou bien correspondre à un nom propre latinisé, mais il ne désigne jamais une affinité botanique.

Pour les noms génériques des spores, van der Hammen utilise la terminaison triletes pour les spores à marque d'accolement en forme de "Y", mais tous les noms génériques des spores doivent être basés sur le type de sculpture des individus, c'est-à-dire, dans le cas des spores il n'y a pas de sous-genres. Pour les genres des spores des champignons, il utilise la terminaison sporites.

La nomenclature de van der Hammen a été révisée en 1961 par Pierce qui ajoute un nouveau concept dans la priorité des éléments de sculpture car, dans le cas des individus à sculpture psilate avec un dessin du subtectum, il donne, avec raison, la priorité à ce dessin négatif, considérant que c'est lui qui attire l'attention de l'observateur. Pierce considère aussi, dans le cas du pollen, les sous-genres de van der Hammen, comme des genres et ainsi tous ces noms génériques sont construits sur des bases d'abord du type de sculpture, ensuite du type et du nombre d'ouvertures.

Très récemment, Burger 1966, afin de simplifier le choix des éléments de sculpture qui doivent apparaître dans le nom générique des individus qui n'ont pas une distribution uniforme sur toute la surface des éléments de sculpture, propose comme prioritaires ceux qui se trouvent :

1 - sur la face distale dans le cas des spores trilètes ou monolètes et des grains de pollen monosaccates.

2 - sur la face distale du corps central des spores cingulées.

3 - sur la cappa des grains de pollen saccates.

4 - sur toute la surface des pollenospores alètes et inaperturées.

5 - sur la zone marginale la plus éloignée des ouvertures chez les grains de pollen des Angiospermes et d'autres Gymnospermes.

Or, Pierce en 1961, pour former ses noms génériques, se base sur des règles qui indiquent le type des caractères à prendre en considération et l'ordre de

priorité dans le nom générique, les voici :

1 - pour les spores sans sacs : ornementation de l'exine et type de marque d'accolement; exemple : Verrutrilletes.

2 - pour les spores à sacs : ornementation de l'exine, nombre des sacs et type de marque d'accolement; exemple : Retitrivessitrilletes.

3 - pour les grains de pollen sans sacs : ornementation de l'exine, nombre et type d'ouverture plus ites; exemple : Psilatricolpites.

4 - pour les grains de pollen sans sacs en groupe (dyade, tetrade, polyade): type d'ornementation de l'exine et nombre d'unités plus ites; exemple Clavate-tradites.

5 - pour les grains de pollen saccates : type d'ornementation de l'exine sur la cappa, nombre de sacs plus ites; exemple : Punctabivesiculites.

Or, d'après tout ce que nous venons de voir, on peut conclure que cette manière de nommer les genres, proposée par van der Hammen, et corrigée par Pierce et Burger, évite d'une manière quasi-définitive la possibilité d'avoir équivalences de noms génériques. D'ailleurs elle permet de savoir immédiatement d'après le nom générique de quoi il s'agit précisément car un nom générique formé de cette manière indique automatiquement les différences par rapport aux autres genres. Enfin, elle prouve que l'utilisation de lettres ou chiffres, l'emploi de noms arbitraires commémoratifs qui ne veulent rien dire et l'utilisation des noms trompeurs basés sur des noms naturels ne doit pas exister et que c'est complètement anachronique.

Si, du point de vue nomenclature, le système de van der Hammen est très avantageux et la terminologie utilisée par Iversen et Troels-Smith la plus logique et la plus simple pour les caractères morphologiques, du point de vue classification ce système est assez faible car au niveau du genre, on trouve des polyades, des monades, des grains saccates, des grains inaperturates, des fenestrates, etc. C'est pourquoi il faut prendre comme but final de cette nomenclature une classification plus logique et naturelle qui puisse grouper les différents genres en divisions supragénériques basées sur d'autres caractères communs.

Pour cela il faudrait prendre comme base les genres proposés par Pierce, afin de pouvoir les grouper en divisions supragénériques plus grandes. Donc les genres proposés par van der Hammen pour les grains de pollen deviendraient des divisions qui grouperaient des genres de Pierce mais pas seulement comme divisions immédiatement supérieures car tout dépend de l'échelle de valeur des caractères morphologiques, choisie pour la classification. Ainsi, le genre Saccites proposé par van der Hammen pourrait dans la classification prendre une place 2 ou 3 échelons plus haut, selon la valeur donnée aux sacs des grains de pollen dans l'échelle des valeurs.

Voyons donc, pour terminer, quelle est ou quelles sont les classifications des pollenospores du type morphologique capables de prendre comme base la terminologie et la nomenclature vue précédemment, tout en tenant compte du fait qu'elles doivent être explicites et en gardant comme but une utilisation pratique. Elles doivent être basées sur des caractères morphologiques susceptibles d'être déterminés facilement avec les moyens courants connus actuellement c'est-à-dire que pour classer une pollenospore quelconque il ne faudra pas avoir besoin de le couper ou de l'étudier au microscope électronique. Pour y arriver il faut alors compter sur les caractères "optiques" les plus stables et le plus universellement considérés comme bases pour une classification morphologique.

IX .- T A X O N O M I E

Puisque la taxonomie étudie les lois des classifications, il faut voir quelles sont les règles susceptibles de régir la classification morphologique systématique des pollenospores fossiles. Ces règles doivent être instaurées d'après les caractères morphologiques des pollenospores, en donnant la priorité pour les grandes divisions à ceux de plus grande persistance susceptibles d'être dominants sur les autres.

A.- LES GROUPES

Depuis le siècle dernier, les palynologistes ont trouvé que les pollenospores fossiles pouvaient être groupés d'après leurs caractères génétiques et morphologiques; ils ont vu aussi que les plus grands groupements qui résultaient d'un tel classement comprenaient des individus montrant un ensemble de caractères généraux assez analogue à ceux des grands groupes de pollenospores provenant de plantes actuelles. C'est à cause de cela que H. Potonié en 1893 créa le nom SPO-RONITES pour grouper les pollenospores fossiles qui, à son avis, ressemblaient morphologiquement et génétiquement aux éléments reproducteurs de Mycophytes. Il créa aussi le nom SPORITES pour grouper les pollenospores fossiles qui ressemblaient aux éléments reproducteurs des Bryophytes et Ptéridophytes. Plus récemment R. Potonié en 1931 désigna sous le nom POLLENITES les pollenospores fossiles qui, d'après leurs caractères génétiques et morphologiques, ressemblaient aux éléments reproducteurs des Angiospermes et des Gymnospermes. Ce concept de divisions des pollenospores fossiles est encore valable car on peut s'apercevoir que les grands groupes botaniques produisent des éléments de reproduction qui présentent des caractères morphologiques uniformes. Evidemment, on trouve des irrégularités qu'il faut accepter si l'on veut arriver à des conclusions pratiques; ces irrégularités vont peut-être disparaître petit à petit au cours du développement de la Palynologie.

Donc le premier concept qui est susceptible de diviser les pollenospores fossiles se base sur le fait qu'ils présentent des caractères morphologiques et génétiques capables de les réunir en plusieurs GROUPES, qui permettent de rassembler tous les individus qui ont un certain nombre de caractères communs. A leur tour ces caractères vus indépendamment vont nous permettre de diviser ces groupes en parties toujours plus petites. Voyons les critères de base.

Selon le type des plantes productrices, les pollenospores fossiles peuvent présenter un certain nombre de caractères très particuliers qui sont soit du type germinatif ou soit du type morphologique. Dans le but de notre classification bien que les caractères germinatifs ne soient pas strictement morphologiques, il faut les considérer comme tels. Quand on étudie les pollenospores fossiles, après leur extraction, on s'aperçoit que l'une des caractéristiques les plus remarquables réside dans la façon la plus courante de se présenter puisqu'ils peuvent apparaître soit isolés soit en groupes (le premier cas étant néanmoins le plus commun). Cette particularité est le résultat des mécanismes de production de ces éléments. Chez les pollenospores fossiles des plantes inférieures (Mycophytes principalement) les individus peuvent se présenter en groupes qui prennent la forme d'amas, de ruban etc... ou bien ils se présentent complètement isolés et ceux-ci peuvent encore être unicellulaires ou pluricellulaires; néanmoins, dans ce dernier cas, il est difficile de les différencier de certains groupes d'individus. Chez les pollenospores fossiles des plantes supérieures les éléments reproducteurs se présentent généralement isolés, bien que certains individus donnent naissance à des groupes de plusieurs éléments qui ne se dissocient pas et qui se présentent donc habituellement avec un arrangement constant. Parfois il arrive de trouver en groupes certains individus qui, d'habitude, se présentent

isolés : ce sont des cas qui témoignent d'un marque de maturité des individus et ils ne doivent pas être considérés en tant que formes communes.

Donc le deuxième concept de classification pour la division des Groupes est dans le mode d'association des individus. Les divisions qui en résultent appelées SUBGROUPES se basent sur le nombre d'individus ou de cellules et sur l'aspect des groupements.

B.- LES DIVISIONS

Or, la plupart des pollenospores, afin d'accomplir leur tâche dans le cycle de la nature, ont besoin de "germer" lorsqu'ils trouvent des conditions favorables, c'est-à-dire, qu'ils doivent laisser sortir de la couche protectrice leur contenu protoplasmique qui donnera, après un certain nombre de processus, origine au zygote qui est à l'origine d'une nouvelle plante. Ce contenu protoplasmique, chez les pollenospores fossiles, n'existe plus et il ne subsiste, sur la paroi protectrice, que les traces des ouvertures prédisposées par la nature pour ce fait. Dans le cas des individus du Groupe des Sporites, cette ouverture correspond le plus souvent aux marques de contact qui témoignent de la manière d'accolement des individus dans la tétrade etc...; chez les Pollenites les ouvertures sont complètement spécialisées et sont indépendantes des cicatrices d'accolement. Ainsi, le type d'ouverture et sa position sur l'individu ainsi que le nombre de ces ouvertures sont des caractères génétiques, qu'il faut traduire en tant que caractères morphologiques, qui nous permettront de grouper les individus en divisions encore plus petites. L'échelle des valeurs dans ce cas est la suivante : d'abord je prendrai comme base de la première division le type d'ouverture et sa position sur l'individu (parfois ces deux caractères se résument dans un seul mot); ensuite dans le cas des Sporonites et des Pollenites, je prendrai le nombre d'ouvertures. De même dans le cas des Sporites la présence ou l'absence de formations de l'exine, la présence du péricarpe, etc... servira de critère remplaçant l'ouverture. Enfin les derniers caractères secondaires qui permettent encore de grouper les individus dans des divisions plus petites, seront, dans le cas des Pollenites, la façon dont les ouvertures se présentent ou chez les Sporites le type des formations de la paroi.

Il existe encore des individus qui se font remarquer davantage par des caractères qui n'appartiennent pas aux types décrits précédemment; dans ce cas, si on le juge convenable, ce seront eux qui, dans la classification, prendront la place appartenant aux ouvertures : la présence de sacs, chez certains Pollenites est un caractère important, qui l'emporte sur le type d'ouverture ou sur le type de la marque d'accolement. Il en va de même pour les Pollenites caractérisés, par la présence de plusieurs plis longitudinaux, etc...

Ainsi, en résumé on peut dire, que pour les trois divisions au dessous des Subgroupes, les concepts de classification sont les suivants : pour la SUPERDIVISION, la présence d'ouverture, leur type et leur position sur l'individu, ainsi que la présence de caractères autres que les ouvertures capables de donner aux individus leur particularité; pour la DIVISION, dans le cas de Pollenites et des Sporonites, le nombre d'ouvertures ou de sacs, etc., pour celui des Sporites, la présence ou l'absence de formations équatoriales, de péricarpe ou d'autres caractères mineurs; et pour la SUBDIVISION, la présence de caractères auxiliaires qui permettront encore de réunir les individus en groupes plus petits : dans le cas des Pollenites on prend en considération la manière dont les ouvertures se présentent, chez les Sporites le type de formation équatoriale ou autres.

Mais il existe le cas où les pollenospores qui n'ont aucune ouverture pourraient être réunis soit dans le Groupe des Pollenites soit dans celui des Sporites car les individus manquent de caractères distinctifs qui puissent les différencier nettement; c'est pourquoi certains chercheurs les ont réunis dans un seul Groupe, tout à fait à part des trois groupes déjà existants, qui sera divisé selon les mêmes considérations envisagées pour les autres, (POLLENISPORITES).

C.- LES SERIES

Pour la division suivante, la SERIE, le concept de classification est celui du type de sculpture des individus. Ainsi les différentes divisions de la Série se baseront sur le type des éléments de sculpture d'après les considérations envisagées par Burger en 1966. C'est d'ailleurs la division des éléments de sculpture proposée par cet auteur qui me semble la plus souhaitable, à savoir:

Série A - comprend les formes de sculpture Psilate et Punctate (lisse et ponctuée).

Série B - comprend les formes de sculpture Scabrata, Verrucata et Gemmata (granuleuse, verruqueuse et en bourgeons).

Série C - comprend les formes de sculpture Clavata et Baculata (en massues et baculée).

Série D - comprend les formes de sculpture Echinata et Spinata (hérissée et épineuse).

Série E - comprend les formes de sculpture Foveolata et Reticulata (foveolée et réticulée).

Série F - comprend les formes de sculpture Striata et Rugulata (striée et rugeuse).

Ces séries ont pour but d'éviter autant que possible le classement des genres de formes d'individus à sculpture voisine, ou plus ou moins semblable, dans des séries tout à fait différentes et aussi de grouper tous les genres déjà décrits auparavant ainsi que les genres nouveaux, en attendant qu'une décision soit prise au sujet de la taxonomie et la nomenclature qui servira de base à la classification définitive.

Je n'ai pas considéré la structure de l'exine comme un caractère qui importe dans la classification morphologique des pollenospores fossiles, principalement parce que je me suis rendu compte que c'est un caractère difficile à observer ou à définir dans l'ensemble des individus fossiles. En effet, même chez les individus qui présentent les meilleurs exemples de stratification de la paroi, elle n'est pas régulièrement visible. Il y a beaucoup de raisons qui empêchent le bon diagnostic de la structure de la paroi des pollenospores et, parmi celles-ci, le degré d'aplatissement des individus, la saleté des échantillons, le type de sédiments, l'épaisseur de l'exine, etc... C'est ainsi que dans le domaine pratique il n'est pas souhaitable de considérer la structure comme un critère de base de classification.

D.- LES GENRES ET LES ESPECES

Les dernières divisions de la classification appartiennent aux GENRES de forme et aux ESPECES de forme. Nous avons déjà vu quels sont les caractères qui les définissent et la manière de les nommer systématiquement d'après van der Hammen (1954) Pierce (1961) et Burger (1966) afin d'avoir une classification acceptée universellement.

En voici le résumé auquel j'ajouterai quelques idées :

Pour former les noms génériques il faut que les chercheurs :

- 1 - les forment de la même façon,
- 2 - utilisent, dans la construction des noms et dans les descriptions, une terminologie uniforme qui ait comme base des racines latines ou grecques,
- 3 - considèrent uniquement les caractères morphologiques des pollenospores
- 4 - n'envisagent pas la relation naturelle possible ou supposée dans la construction des noms.

L'ordre de priorité des racines qui définissent les caractères pris en considération dans la construction des noms est le suivant :

- 1 - dans le cas des Sporonites : ornementation de l'exine, nombre et forme de groupement des individus plus sporonites : Psilamonoporisporonites,
- 2 - dans le cas des Sporites : ornementation de l'exine, type d'épaississement ou caractères secondaires, plus type de la marque d'accolement, ou d'ouverture : Verrucingulatitriletes,
- 3 - pour les Pollenisporites (pollenospores sans ouvertures) : ornementation de l'exine, type d'épaississement ou caractère secondaire plus inaperturates : Clavazonatinaperturates,
- 4 - pour les Pollenites sans sacs : ornementation de l'exine, nombre et type d'ouverture plus ites : Echitriatrioporites,
- 5 - dans le cas des Pollenites en groupes : ornementation, nombre d'unités et plus ites : Retitetradites,
- 6 - pour les pollenites à sacs : ornementation sur la cappa, nombre de sacs type de marque (ou striations) plus ites : Ruqudisaccitrilites.

La sculpture à choisir est celle qui se trouve :

- 1 - sur la face distale du corps des Sporites et des Pollenites monosaccates,
- 2 - sur la cappa chez les autres Pollenites saccates,
- 3 - sur toute la surface de l'individu chez les Sporonites et les Pollenisporites,
- 4 - sur la zone la plus éloignée des ouvertures chez les autres pollenites.

Lorsque, sur un même individu, la sculpture est très variée, il faut donner priorité aux :

- 1 - éléments réellement positifs (les épines ont priorité sur les perforations),
- 2 - éléments prédominants parmi les différents types d'éléments positifs,
- 3 - dessins du Subtectum dans le cas des individus à exine lisse.

Or, les noms des espèces de forme doivent être binominaux; le premier nom est celui du genre; quant au second il doit rappeler une caractéristique des pollenospores ou bien encore un nom propre latinisé, mais il ne doit jamais désigner une affinité botanique.

E.- LA CLASSIFICATION UTILISEE

Voici ensuite une classification basée sur les concepts vus plus haut. Elle a été faite en prenant en considération les idées de plusieurs auteurs ainsi que les divisions de plusieurs classifications existantes. J'ai choisi celles qui, à mon avis, désignent des caractères morphologiques précis et nets des pollenospores fossiles. J'ai essayé de modifier légèrement quelques noms afin de les rendre plus uniformes dans l'ensemble. Parfois j'ai attribué une valeur plus grande ou plus petite que celle qui a été donnée pour l'auteur. J'ai aussi créé d'autres noms là où il m'a semblé que les caractères (ou le caractère) morphologiques pris en considération étaient susceptibles de grouper certains individus. Néanmoins on peut voir tout de suite qu'il persiste une incohérence dans la nomenclature, ce qui est dû au manque d'uniformité de la termi-

nologie de base. Cependant, en attendant que, des différents conventions et colloques internationaux, sorte une décision définitive et une commission qui s'occupe de la terminologie et de la nomenclature de base, la moindre chose que l'on puisse faire à l'échelon personnel est d'essayer le plus possible d'ordonner et de rendre plus abordable ce que l'on possède actuellement.

CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE DES POLLENOSPORES FOSSILES

GROUPE	SOUS-GROUPE	SUPERDIVISION	DIVISION	SOUS-DIVISION
SPORONITES	Congesporonites			
	Fasciasporonites			
	Vitiosusporonites			
	Pluricellasporonites			
	Dicellasporonites			
	Unicellasporonites	Inapertisporonites		
		Apertisporonites	Monoporisporonites	
			Diporisporonites	
			Triporisporonites	
			Polyporisporonites	
SPORITES		Monoletes	Nudumonoletes	
			Aequatoromonoletes	Zonatomonoletes
				Cingulatomonoletes
			Bullatomonoletes	
			Perinomonoletes	
		Diletes		
		Triletes	Nudutriletes	
			Distitriletes	Elateratriletes
				Ansulatriletes
				Patinatriletes
			Distaequatorotriletes	Cingulapatitriletes
				Cingulansulatriletes
				Valvapatitriletes
				Tricraspatitriletes
				Tricrasansulatriletes
			Aequatorotriletes	Zonatitriletes
				Cingulizonitriletes
			Cingulatriletes	
			Appendicitriletes	
			Coronatitriletes	
			Tricrassitriletes	

Operculates		
Praesulcates	Aletepraesulcates	
	Monopraesulcates	
	Dipraesulcates	
	Tripraesulcates	
Sulcates	Nudusulcates	Navisulcates
		Confertisulcates
		Dyptichesulcates
		Serasulcates
		Intortesulcates
	aequatorosulcates	Zonalisulcates
		Cingulisulcates
		Auriculisulcates
Trichotomosulcates		
Praecolpates	Praedicolpates	
	Praedidemicolpates	
Colpates	Monocolpates	Brevimonocolpates
		Longamonocolpates
	Dicolpates	
	Tricolpates	Triuecolpates
		Tridemicolpates
	Stephanocolpates	Stephaneucolpates
		Stephanodemicolpates
Pericolpates	Peritricolpates	
	Peripolypolpates	
Sulculates	Zonisulculates	
	Disulculates	
	Trisulculates	
Syncolpates	Syntricolpates	Syntrieucolpates
		Syntridemicolpates
Parasyncolpates	Parasyntetracolpates	Parasyntetrademicolpates
Sigmoidaperturates		
Spiraperturates		
Porates	Monoporates	Monaperinoporates
		Monoperinoporates
	Diporates	

	: Triporates	: Triextraporates
		: Trieuporates
		: Triatrioporates
		: Trivestibuloporates
		: Triintraporates
		: Trioculoporates
		: Trisubporates
	: Stephanoporates	: Stephaneuporates
		: Stephanovestiporates
: Periporates		
: Colporates	: Monocolporates	
	: Tricolporates	: Prolatricolporates
		: Sphaeratricolporates
		: Oblatricolporates
	: Stephanocolporates	
: Syncolporates	: Syntricolporates	
: Parasyncolporates	: Parasyntricolporates	
: Poro-colpates	: Triporo-tricolpates	
: Fenestrates		
: Rimulates		
: Aequatorannulates	: Endostriates	
	: Astriates	: Polygonastriates
		: Triangulastriates
: Costates	: Miscerecostates	: Amiscerecostates
		: Polymiscerecostates
	: Statiocostates	: Astatiocostates
	: Continuocostates	: Acontinuocostates
		: Polycontinuocostates
	: Tumuluocostates	: Atumuluocostates
		: Monotumuluocostates
: Saccates	: Monopolsaccates	: Aletemonopolsaccates
		: Monoletemonopolsaccates

PRINCIPES DE BASE ADOPTES POUR LA CLASSIFICATION DES

POLLENOSPORES FOSSILES

GRUPE SPORONITES H. Potonié 1893

Ce groupe qui ne devrait renfermer que les pollenospores sans marque de déhiscence des champignons sera utilisé ici pour réunir les éléments reproductifs qui se présentent isolés ou en groupes, unicellulaires ou pluricellulaires, munis ou non de petites ouvertures (pores). Ils ont généralement une exine sombre et épaisse et leur taille est souvent petite. Ces individus appartiennent vraisemblablement aux éléments reproducteurs de plantes inférieures, telles que les Phycophytes et les Mycophytes.

Ce groupe est divisé en plusieurs sous-groupes d'après le nombre des individus qui constituent l'association, leur mode d'arrangement dans cette association, ainsi que d'après le nombre de cellules qui les constituent (Pl. I, fig. 1-54).

SOUS-GROUPE CONGESPORONITES nov. subgr. (fig. 24a, 1)

Ce premier sous-groupe englobe les individus qui se présentent en amas (du latin congeries = amas) et peuvent ou non communiquer entre eux à travers leurs parois. Le nombre d'individus varie beaucoup mais il est toujours supérieur à 4. Les amas peuvent former des boules ou des polyèdres, c'est-à-dire que les individus peuvent se grouper d'une manière irrégulière ou géométrique.

Les Congesporonites englobent une partie des individus décrits par van der Hammen en 1954 (148) sous le nom de Polyadosporites.

Exemples : Genre Psilacongesporonites nov. gen. Pl. I, fig. 1-4)

Espèce Inapertisporonites tetradus Rouse 1962

SOUS-GROUPE FASCIASPORONITES nov. subgr. (fig. 24a, 2)

Les individus sont ici groupés selon une seule direction (du latin fascia = ruban), ce qui donne une association en forme de ruban. Les individus communiquent entre eux par l'intermédiaire de petites perforations des parois sur la zone de contact. Les rubans peuvent être isolés ou bien unis; dans ce dernier cas ils divergent à partir d'un individu. Ils représentent peut-être les hyphes des champignons de plus grande taille que les autres (Pl. I, fig. 5-7).

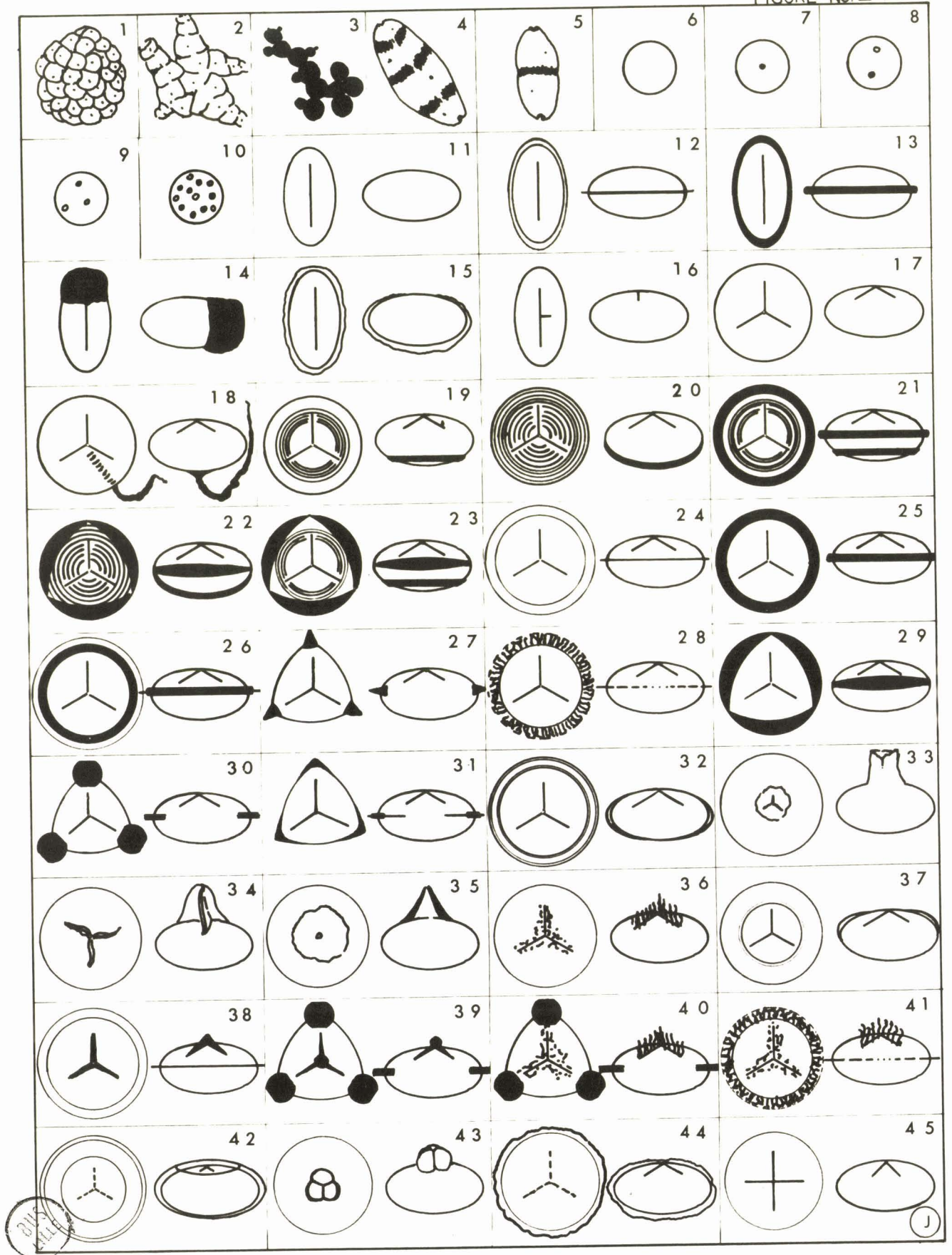
Exemple : Genre Punctafasciasporonites nov. gen. (Pl. I, fig. 7)

SOUS-GROUPE VITIOSUSPORONITES nov. subgr. (fig. 24a, 3)

Les individus dont la taille est toujours petite sont généralement discoïdaux ou globuleux; ils sont unis les uns aux autres selon toutes directions et forment des groupes de forme irrégulière (latin vitiosus = irrégulier), sur plusieurs plans; ces groupements ne sont jamais compacts. Les différents individus ne montrent pas d'ouvertures visibles. L'exine est très sombre.

Exemple : Genre Psilavitiosusporonites (al. Sporonites) Ibrahim 1933 nov. nom.

FIGURE No. 24 a



SOUS-GROUPE PLURICELLASPORONITES (van der Hammen 1954) emend. (fig. 24a, 4)

Il s'agit ici de Sporonites constitués par un nombre variable mais toujours supérieur à 2 individus (?) ou cellules (?). Ces Sporonites ont une forme allongée et les individus communiquent entre eux par des perforations de leurs parois ou de la membrane de la zone d'union. Chaque constituant peut avoir un ou plusieurs pores de très petite taille, mais il en existe toujours un plus grand sur l'extrémité libre des individus ou cellules (Pl. I, fig. 10-11). Van der Hammen a créé le nom générique Pluricellaesporites pour désigner ces Sporonites, cependant je l'utiliserai ici au niveau du sous-groupe. Exemple : Genre Psilatetracellasporonites nov. gen. (Pl. I, fig. 10)

SOUS-GROUPE DICELLASPORONITES nov. subgr. (fig. 24a, 5)

Ce sous-groupe englobe les Sporonites constitués par deux cellules (?) ou individus (?) de forme allongée (Pl. I, fig. 12-27). Chaque constituant peut présenter un ou plusieurs pores de très petite taille dont l'un (se situant sur les extrémités libres) est toujours plus grand. La forme de chacun des deux constituants qui, d'ailleurs communiquent entre eux varie beaucoup (sphérique, semi-sphérique etc...).

Exemple : Genre Retidicellasporonites nov. gen. (Pl. I, fig. 25-26)

SOUS-GROUPE UNICELLASPORONITES nov. subgr. (fig. 24a, 6-10)

Ce sont des Sporonites unicellulaires se présentant généralement isolés. Ils peuvent présenter ou non de petits pores. Dans le premier cas, l'un des pores montre une forme plus complexe que les autres avec une taille plus importante.

A l'intérieur de ce sous-groupe, on peut distinguer différentes Superdivisions qui se baseront sur la présence ou l'absence d'ouvertures (Pl. I, fig. 28-54).

I.- SUPERDIVISION INAPERTISPORONITES (van der Hammen 1954) emend.
(fig. 24a, 6)

Ce sont des Unicellasporonites sans ouverture visible. Encore ici, van der Hammen utilise le nom Inapertisporites au niveau du genre.

Exemple : Genre Psilainapertisporonites van der Hammen 1954 nov. nom. (Pl. I, fig. 28-32)

II.- SUPERDIVISION APERTISPORONITES nov. superdiv. (fig. 24a, 7-10)

Ce sont des Unicellasporonites munis, outre d'une multitude de petites perforations, d'une ou plusieurs ouvertures (pores) de petite taille, à structure plus complexe; ce sont ces derniers pores qui vont définir les différentes divisions (Pl. I, fig. 33-54) qui, toutes, portent d'ailleurs un nom utilisé par van der Hammen au niveau du genre.

A.- DIVISION MONOPORISPORONITES (van der Hammen 1954) emend. (fig. 24a, 7)

Cette division renferme les Apertisporonites ne possédant qu'un

seul pore.

Exemple : Genre Psilamonoporisoronites van der Hammen 1954 nov. nom. (Pl. I, fig. 33-38)

B.- DIVISION DIPORISPORONITES (van der Hammen 1954) emend. (fig. 24a; 8)

Il s'agit d'Apertisoronites qui montrent deux pores généralement en position opposée.

Exemple : Genre Psiladiporisporonites van der Hammen 1954 nov. nom. (Pl. I, fig. 41-48)

C.- DIVISION TRIPORISPORONITES (van der Hammen 1954) emend. (fig. 24a, 9)

Ce sont des Apertisoronites avec trois pores parfois distribués équidistalement sur la surface des individus.

Exemple : Psilatriporisporonites nov. gen. (Pl. I, fig. 49)

D.- DIVISION POLYPORISPORONITES (van der Hammen 1954) emend. (fig. 24a, 10)

Ce sont des Apertisoronites qui présentent, sur toute leur surface, des pores dont le nombre est supérieure à 3.

Exemple : Genre Psilapolysporonites nov. gen. (Pl. I, fig. 50-54)

GROUPE SPORITES H. Potonié 1893

Les pollenospores appartenant à ce groupe présentent une marque d'accolement de type monolète, dilète, trilète, tétralète ou circularète qui, le plus souvent, sert d'ouverture germinale. Ils peuvent être munis aussi d'une ou deux ouvertures d'un type spécial qui sont des aires de moindre résistance de l'exine, produites par une modification de la structure et de la sculpture de cette couche. Il s'agit là de la formation appelée hilum. Les pollenospores munis d'un hilum peuvent également avoir ou non une marque d'accolement de type trilète. Les caractères concernant le type de la marque d'accolement, ainsi que la présence de l'hilum, serviront de base pour la distinction des Superdivisions. Etant donné que les pollenospores de ce Groupe se présentent presque toujours isolés, il n'y a pas lieu de distinguer ici de sous-groupes (Pl. II-III et IV, fig. 1-61).

I.- SUPERDIVISION MONOLETES Ibrahim 1933 (fig. 24a, 11-15)

Il s'agit ici de Sporites présentant une marque d'accolement du type monolète avec laesura simple ou munie d'épaississements de l'exine. Ils présentent une symétrie bilatérale et peuvent montrer ou non des formations équatoriales ou un périne. Ce sont ces derniers critères qui détermineront les divisions parmi lesquelles celle des Bullatomonoletes est cependant un cas spécial; cette dernière sera définie plus loin (Pl. II, fig. 1-26).

A.- DIVISION NUJUMCNOLETES Lüber 1935 nov. nom. (fig. 24a, 11)

Elle englobe les Monoletes totalement dépourvues de formations équatoriales (Pl. II, fig. 1-25).

Exemples : Genre Laevigatosporites Ibrahim 1933 (Pl. II, fig. 1-12).

Genre Psilamonoletes van der Hammen 1956

B.- DIVISION AEQUATOROMONOLETES Lüber 1935 nov. nom. (fig. 24a, 12-13)

Ce sont des Monoletes qui présentent des formations équatoriales de types variés. Ces derniers définiront les différentes sous-divisions (Pl. II, fig. 26).

1.- SOUS-DIVISION ZONATOMONOLETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24a, 12)

Il s'agit de Aequatoromonoletes présentant une zona.

Exemple : Genre Pericutosporites Imgrund 1952

2.- SOUS-DIVISION CINGULATOMONOLETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24a, 13)

Les Aequatoromonoletes qui entrent dans cette sous-division sont munies d'un aequulum.

Exemple : Genre Speciososporites Potonié et Kremp 1954

C.- DIVISION BULLATOMONOLETES Dybova et Jachowicz 1957 (fig. 24a, 14)

Elle englobe des Pollenospores du type du genre Torispora Balme 1952, c'est-à-dire des individus monolètes pouvant avoir une crassitude en position non définie car elle peut non seulement présenter des formes diverses mais aussi être distale ou équatoriale.

Exemple : Genre Torispora Balme 1952

D.- DIVISION PERINOMONOLETES Erdtman 1947 (fig. 24a, 15)

Ce sont des Monoletes entourées d'un périne.

Exemple : Genre Perinomonolites (Erdtman 1947) Couper 1953

II.- SUPERDIVISION DILETES Danzé et Laveine 1960 (fig. 24a, 16)

Ces Sporites sont munis d'une marque d'accolement du type dilète, c'est-à-dire d'une marque qui présente 2 laesuras en angle droit dont l'une petite naît au centre de l'autre qui se présente sur le sens longitudinal de l'individu.

Exemples : Genre Leschikisporites R. Potonié 1958

Genre Circlettisporites Miller 1966

III.- SUPERDIVISION TRILETES (Reinsch 1881) Potonié et Kremp 1954
(fig. 24a, 17-44, fig. 24d, 44a)

Ce sont des Sporites présentant une marque d'accolement du type trilète qui peut avoir des laesuras simples ou munies d'une marge ou autre formation. Ils peuvent ou non présenter des formations équatoriales, proximales

ou distales; c'est là que se définissent les différentes Divisions, dont celles des Cystitriletes, Operculatitriletes et Perinotriletes sont néanmoins des cas spéciaux qui seront définis par la suite. D'après Delcourt et Sprumont 1954, la marque de déhiscence peut quelquefois ne pas être visible, mais on peut reconnaître qu'il s'agit d'une spore trilète grâce à la forme plus ou moins triangulaire arrondie du contour équatorial et à l'arrangement architectonique rappelant l'origine tétraédrique de la spore (Pl. II, fig. 32-Pl. IV, fig. 57).

A.- DIVISION NUDUTRILETES nov. div. (fig. 24a, 17)

Ces Triletes sont totalement dépourvues de formations de l'exine (du latin Nudus = nu). (Pl. II, fig. 32- Pl. IV, fig. 18).

Exemples : Genre Foveolatisporites Bharadwaj 1955
Genre Psilatriletes van der Hammen 1956

B.- DIVISION DISTITRILETES nov. div. (fig. 24a, 18-20)

Cette Division groupe des Triletes munis de formations de l'exine situées en position uniquement distale. Celles-ci qui peuvent être des épais-
sissements ou des projections de l'exine vont définir les différentes sous-
divisions.

1.- SOUS-DIVISION ELATERATRILETES Elsik 1966 (fig. 24a, 18)

Ce sont des Distitriletes munis de projections ou de formations distales.

Exemple : Genre Caudaspora Elsik 1966

2.- SOUS-DIVISION ANSULATRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 19)

Ces Distitriletes présentent sur la face distale une ou plusieurs crassitudes en forme d'anneau (ansula).

Exemple : Genre Distalanulisporites Klaus 1960

3.- SOUS-DIVISION PATINATRILETES (al. Patinatitriletes)
Butterworth et Williams 1958 (fig. 24a, 20)

Ce sont des Distitriletes qui montrent sur leur face distale un épais-
sissement de l'exine de forme circulaire; ce dernier peut naître à par-
tir de l'équateur. Un tel type de crassitude est appelé Patina.

Exemples: Genre Iholisporites Butterworth et Williams 1958

C.- DIVISION DISTAEQUATOROTRILETES nov. div. (fig. 24a, 21-23; fig. 23a-23b)

Cette division comprend des Triletes présentant à la fois des forma-
tions distales et équatoriales. Les Sous-division se baseront sur les types
de formations.

1.- SOUS-DIVISION CINGULAPATITRILETES nov. subdiv. (fig. 24d, 23a)

Ce sont des Triletes munies d'un cingulum et d'une patina.
Exemples : Espèce Cingutriletes clavus (Balme) Dettmann 1963
Genre Tauroeusporites Stover 1962

2.- SOUS-DIVISION CINGULANSULATRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 25)

Il s'agit ici des Distaequatorotriletes munis d'un cingulum et d'une ou plusieurs crassitudes annulaires (ansula) sur la partie distale.
Exemple : Genre Polycingulatisporites (Simoncsis et Kedves) Playford et Dettmann 1965

3.- SOUS-DIVISION VALVAPATITRILETES nov. subdiv. (fig. 24d, 23b)

Cette Sous-division englobe les Triletes munis de légers épais-
sissements au niveau de la partie terminale des laesuras (valvae) et épais-
sissement distal circulaire (patina).
Exemple : Espèce Stereisporites antiquasporites (Wilson et Webster) Dettmann
1963

4.- SOUS-DIVISION TRICRASPATITRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 22)

Ces Distaequatorotriletes sont munis de crassitudes interradia-
les et d'une patina distale.
Exemple : Genre Coronatispora Dettmann 1963

5.- SOUS-DIVISION TRICRASANSULATRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 23)

Dans cette Sous-division les Distaequatorotriletes sont munis
de crassitudes interradiales et d'une ou plusieurs crassitudes annulaires
(ansula) distales.
Exemple : Genre Punctatricrasansulatriletes nov. gen., Pl. IV, fig. 4

D.- DIVISION AEQUATOROTRILETES Waltz 1935 nov. nom. (fig. 24a, 24, 32)

Ces Triletes sont des formes seulement munies de formations équato-
riales qui se subdiviseront selon le type de ces formations (Pl. IV, fig. 19-
54).

1.- SOUS-DIVISION ZONATITRILETES Potonié et Kremp 1954 (fig. 24a, 24)

Cette Sous-division englobe les Aequatorotriletes qui présentent
une zona c'est-à-dire une projection équatoriale en forme d'ourlet plus ou
moins membraneux, mince et large (Pl. IV, fig. 19-38).
Exemple : Genre Aequitiradites Delcourt et Sprumont 1955 (pro-parte)

2.- SOUS-DIVISION CINGULIZONITRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 26)

Les individus de cette Sous-division sont des Aequatorotriletes dont la formation équatoriale est constituée par une aire intérieure épaisse et une aire extérieure plus mince (cingulizona).

Exemple : Genre Cingulizonates (Dybova et Jachowicz 1957) Butt., Jans., Smith et Staplin 1963

3.- SOUS-DIVISION CINGULATITRILETES R. Potonié et Klaus 1954
(fig. 24a, 25)

Il s'agit ici des Aequatorotriletes qui possèdent un cingulum (épaississement équatorial s'étendant à tout le pourtour et augmentant le diamètre équatorial) (Pl. IV, fig. 39-43).

Exemple : Genre Densoisporites Weyl. et Krieg. 1953

4.- SOUS-DIVISION APPENDICITRILETES (al. appendiciferi) R.
Potonié 1952 (fig. 24a, 27)

Les individus de cette Sous-division sont des Aequatorotriletes qui présentent une projection de forme conique, longue et mince, naissant de la partie terminale de chaque laesura.

Exemple : Genre Appendicisporites Weyl. et Krieg. 1953

5.- SOUS-DIVISION CORONATITRILETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24a, 28)

Cette Sous-division groupe des Aequatorotriletes qui possèdent une corona (projection équatoriale plus ou moins frangée ou fibreuse) (Pl. IV, fig. 44).

Exemple : Genre Rotatisporites Potonié et Kremp 1954

6.- SOUS-DIVISION TRICRASSITRILETES Dettmann 1963 (fig. 24a, 29)

Ce sont des Aequatorotriletes qui possèdent des crassitudes interradiales (Pl. IV, fig. 45-51).

Exemple : Genre Camarozonosporites (Pant 1954) Potonié 1956

7.- SOUS-DIVISION AURICULITRILETES Potonié et Kremp 1954 (fig. 24a, 30)

Les Aequatorotriletes réunis dans cette Sous-division sont munis d'extensions équatoriales de l'exine en forme d'oreilles (auricula) sur la partie terminale des laesuras.

Exemple : Genre Iripartites (Schemel 1950) Potonié et Kremp 1954

8.- SOUS-DIVISION VALVATITRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 31)

Cette Sous-division comprend les Aequatorotriletes présentant en position équatoriale sur la partie terminale des laesuras, des épaississements de l'exine, qui ne sont pas des projections (valva).

Exemples : Genre Iriquitrites (Will. et Coe 1940) Potonié et Kremp 1954

Genre Matonisporites (Couper) Dettmann 1963

9.- SOUS-DIVISION CAVATITRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 32)

Ces aequatorotriletes sont des individus dont les deux couches de l'exine se trouvent partiellement ou complètement séparées l'une de l'autre par une cavité (cava) équatoriale.

Exemples : Espèce Densoisporites velatus (Weyland et Krieger) Krasnova 1961
Espèce Densoisporites regularis Danzé-Corsin, Laveine 1963

E.- DIVISION LAGENOTRILETES Potonié et Kremp 1954 emend. (fig. 24a, 33-37)

Ces Triletes présentent sur la face proximale des projections de l'exine. Celles-ci sont de types divers, ce qui déterminera des Sous-divisions.

1.- SOUS-DIVISION GULAITRILETES Bharadwaj 1957 (fig. 24a, 33)

Ce sont des Lagenotriletes munis d'une gula (= goulot), c'est-à-dire d'un cône de déhiscence formé sur la prolongation proximale de l'axe polaire. Ce cône porte la fente de déhiscence sur la zone qui entoure l'apex où celle-ci devient plus ou moins large.

Exemple : Genre Lagenicula (Bennie et Kidston) Potonié et Kremp 1954

2.- SOUS-DIVISION CAPULITRILETES R. Potonié 1956 (fig. 24a, 34)

Ces Lagenotriletes sont munis d'un trifolium, c'est-à-dire d'une formation proximale en trois plans portant chacun une laesura de la marque trilète. Le diamètre de cette formation reste uniforme de la base jusqu'à l'apex. Les 3 plans forment les dièdres entre eux qui représentent les zones de contact.

Exemple : Genre Capulisporites Potonié 1956

3.- SOUS-DIVISION PYROBOLITRILETES R. Potonié 1956 (fig. 24a, 35)

Cette Sous-division réunit les Lagenotriletes qui possèdent un pyrobolus, c'est-à-dire une formation proximale en forme de cou long formé par plusieurs segments qui renferment une chambre où se trouve la marque trilète.

Exemples : Genre Pyrobolospora Hughes 1955

Genre Arcellipites Miner 1935

4.- SOUS-DIVISION BARBATITRILETES Mädlér 1954 (fig. 24a, 36)

Il s'agit ici des Lagenotriletes dont les laesuras présentent autour d'elles des projections en forme de cheveux ou de fibres soit simples soit dichotomes mais généralement libres.

Exemple : Genre Lycostrobus Nathorst 1908

5.- SOUS-DIVISION PROXICAVITRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 37)

Ces Lagenotriletes sont munis d'une cava (= cavité) proximale.

Exemple : Espèce Crybelosporites stylosus Dettmann 1963

F.- DIVISION AQUATOROLAGENOTRILETES nov. div. (fig. 24a, 38-41)

Les individus rentrant dans cette division sont des Triletes munis à la fois de formations équatoriales et de formations proximales.

Les différentes combinaisons de ces formations déterminent des différentes Sous-divisions.

1.- SOUS-DIVISION ZONALAGENOTRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 38)

Cette Sous-division renferme des spores trilètes munies d'une zona et dont les laesuras présentent une projection plate mince et membraneuse.
Exemple : Genre Minerisporites R. Potonié 1956

2.- SOUS-DIVISION AURITOLAGENOTRILETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24a, 39)

Il s'agit ici des Triletes munis à la fois d'une protubérance apicale et d'auricules.

Exemples : Genre Expansisporites C.C.D.L. 1962

Genre Balmeisporites Cookson et Dettmann 1958

3.- SOUS-DIVISION AURITOBARBATRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 40)

Ce sont des trilètes qui montrent sur leur partie équatoriale des auricules et sur leur partie proximale des projections en forme de fibres de cheveux ou d'épines autour des laesuras.

Exemple : Genre Thomsonia Mädler 1954 pro-partes

4.- SOUS-DIVISION CORONOBARBATRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 41)

Ces trilètes sont munies d'une corona et autour des laesuras, de projections en forme de fibres de cheveux ou d'épines.

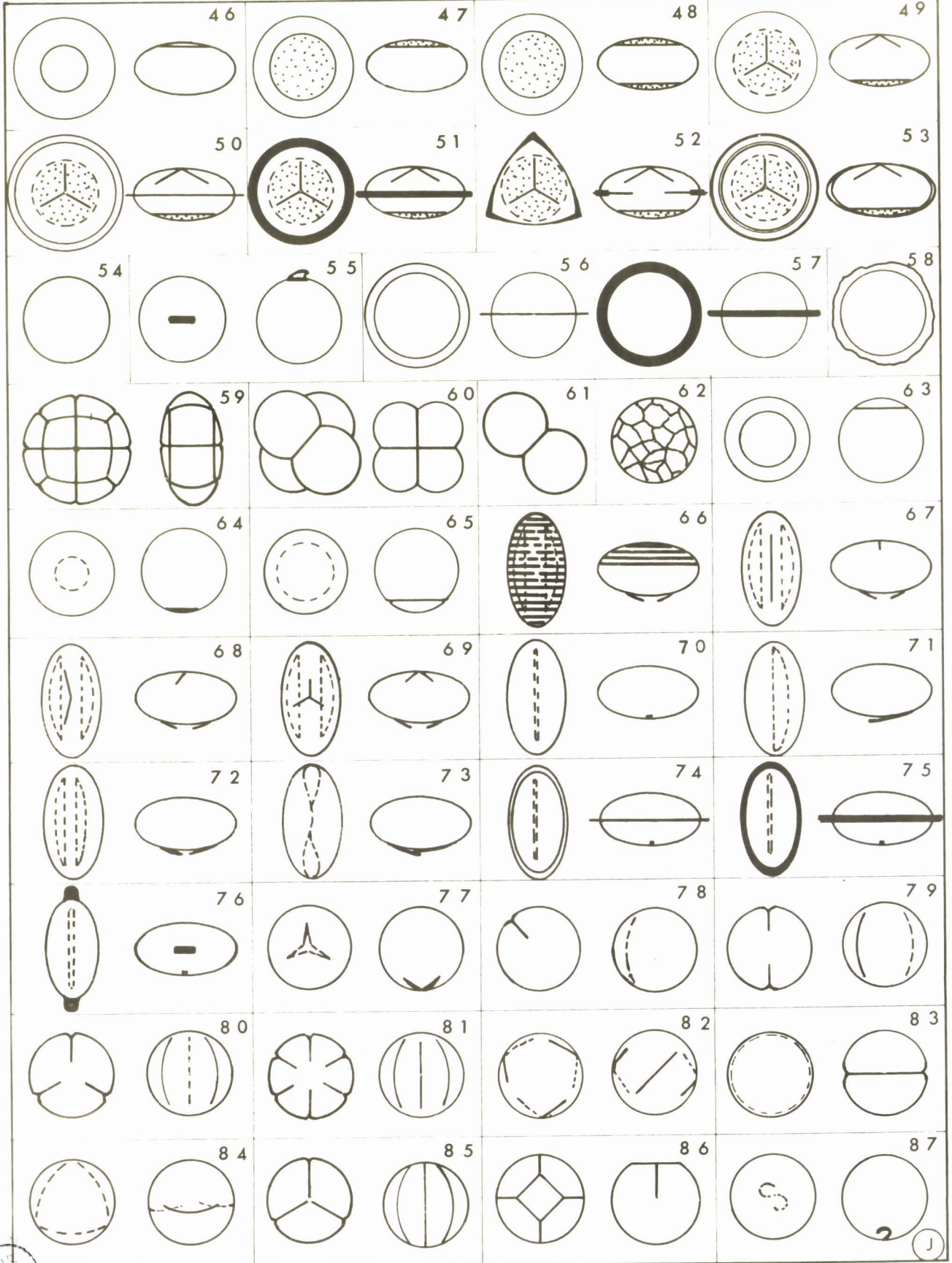
Exemple : Genre Dijkstraiporites R. Potonié 1956

G.- DIVISION OPERCULATITRILETES Laveine 1965 (fig. 24a, 42)

Ces Triletes ont une forme sphérique à sub-sphérique ou discoïdale. Ce sont des individus constitués par une membrane externe et un corps interne; ce dernier porte la marque trilète et n'est attaché que sur le bord d'une surface operculaire située sur l'hémisphère proximale; cet opercule atteint approximativement le tiers du diamètre total de l'individu. L'ornementation de la membrane externe est variable; quant à la membrane interne, elle est habituellement lisse mais peut présenter des plis à arrangement variable. D'après Laveine, les formes attribuées au genre Reticulatisporonites C.C.D.L. considérées comme spores de champignons ne sont que les opercules de telles spores. Il faut cependant remarquer que ces opercules ont toutefois la même valeur que les individus entiers. L'opercule ne montre aucune marque d'accolement ce qui laisse supposer qu'il n'y avait pas formation de tétrade et que la marque du corps central, sous l'opercule, ne correspondait plus qu'à une marque de déhiscence et son habitus trilète en "souvenir" d'une formation de tétrade ancestrale.

Exemple : Genre Vestisporites (Wilson et Hoffmeister 1956) Laveine 1965

FIGURE No. 24b



BU
LILLE

(J)

H.- DIVISION CYSTITRILETES (R. Potonié et Kremp 1954) C.C.D.L. 1962
(fig. 24a, 43)

Ce sont des Triletes dont, seul, l'un des individus de la tétrade arrive à maturité; les trois autres avortent : ils sont de plus petite taille et quelques fois ils se trouvent encore sur l'individu fertile formant une tétrade.

Exemple : Genre Cystosporites Schopf 1938

J.- DIVISION PERINOTRILETES Erdtman 1947 (fig. 24a, 44; fig. 24d, 44a)

Il s'agit ici des Triletes dont la couche la plus externe du sporoderme (= périne) est conservée et entoure l'exine (Pl. IV; fig. 55-57).

Exemple : Genre Perotriletes Couper 1953

1.- SOUS-DIVISION EUPERINOTRILETES nov. subdiv. (fig. 24a, 44)

Ces Perinotriletes présentent un périne uniforme et régulier autour de l'individu.

2.- SOUS-DIVISION ZONAPERINOTRILETES nov. subdiv. (fig. 24d, 44a)

Ce sont des Perinotriletes dont la périspore forme une zona sur l'équateur de la spore.

Exemple : Espèce Lycopodium perplicatum Bolchovitina 1956

IV.- SUPERDIVISION TETRALETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24a, 45)

Les Sporites de cette Superdivision montrent une marque de déhiscence formée par quatre branches en croix. Ils sont, peut-être, de formes tératologiques des spores trilètes.

Exemple : Genre Apiculatisporites Ibrahim 1933 (pro-partes)

V.- SUPERDIVISION CIRCULALETES C.C.D.L. 1962 (fig. 24b, 46)

Ces Sporites présentent une marque d'accolement de forme circulaire. On les trouve parfois accolées en dyades ou bien en tétrades dont 2 des individus de grande taille forment une dyade et les autres deux, beaucoup plus petits, se trouvent attachés de part et d'autre de la zone d'union de la dyade.

Exemple : Genre Circularisporites C.C.D.L. 1962

VI.- SUPERDIVISION HILATES Dettmann 1963 (fig. 24b, 47-48)

Cette Superdivision groupe des Sporites qui se caractérisent par la présence d'un ou deux hilums. Le hilum peut se trouver sur la face distale ou proximale des individus ou bien sur les deux à la fois. Le nombre de ces ouvertures permet de grouper les individus en 2 divisions.

A.- DIVISION MONOHILATES nov. div. (fig. 24b, 47)

Ce sont des Sporites avec un seul hilum.

Exemple : Genre Coptospora Dettmann 1963 (pro-partie)

B.- DIVISION DIHILATES nov. div. (fig. 24b, 48)

Ces Sporites présentent 2 hilums en position opposée.

Exemple : Genre Cyclusphaera Elsik 1966

VII.- SUPERDIVISION HILATRILETES nov. superdiv. (fig. 24b, 49-53)

Cette Superdivision groupe les Sporites munis d'une marque trilète et d'un hilum proximal ou distal. Les hilatrilètes sont groupées dans deux divisions d'après la présence ou l'absence de formations équatoriales (Pl. IV, fig. 58-61).

A.- DIVISION NUDUHILATRILETES nov. div. (fig. 24b, 49)

Ce sont des Hilatriletes sans formations équatoriales (Pl. IV, fig. 58-60).

Exemple : Espèce Coptospora paradoxa (Cookson et Dettmann) Dettmann 1963

B.- DIVISION AEQUATOROHILATRILETES nov. div. (fig. 24b, 50-53)

Il s'agit ici des Hilatriletes qui possèdent des formations équatoriales dont les différents types définiront les Sous-divisions (Pl. IV, fig. 61).

1.- SOUS-DIVISION ZONIHILATRILETES nov. subdiv. (fig. 24b, 50)

Ce sont des spores Aequatorohilatriletés qui présentent une zona.

Exemple : Genre Couperisporites Pocock 1962

2.- SOUS-DIVISION CINGULIHILATRILETES nov. subdiv. (fig. 24b, 51)

Les individus de cette Sous-division sont des Aequatorohilatriletés qui montrent un cingulum.

Exemple : Genre Cooksonites (Pocock) Dettmann 1963

3.- SOUS-DIVISION VALVIHILATRILETES nov. subdiv. (fig. 24b, 52)

Cette sous-division comprend les Aequatorohilatriletés munis de valvae.

Exemple : Genre Punctavalvihilatriletés nov. gen. (Pl. IV, fig. 61).

4.- SOUS-DIVISION CAVIHILATRILETES nov. subdiv. (fig. 24b, 53)

Ces Aequatorohilatriletés possèdent une cava équatoriale.

Exemple : Espèce Aequitiradites spinulosus Cookson et Dettmann 1961

GROUPE POLLENISPORITES nov. gr.

Les pollenospores de ce groupe n'ont pas de caractères bien définis qui permettent de les ranger avec certitude dans le groupe des Pollenites ou celui des Sporites. On ne connaît pas leur association en tétrade, dyade, polyade ect. Ce nouveau groupe comprend uniquement une superdivision (Pl. IV, fig. 62-73, Pl. V, fig. 1-27).

I.- SUPERDIVISION INAPERTURATES Iversen et Troels-Smith 1950 (fig. 24b, 54, 56 58)

Il s'agit ici de Pollenisporites sans ouverture ou marque d'accolement définis. La présence ou l'absence de formations équatoriales ou la présence de périne sert au groupement des individus en 3 divisions.

A.- DIVISION NUDINAPERTURATES nov. div. (fig. 24b, 54)

Ces Inaperturates sont dépourvus de toute sorte de formations de l'exine (Pl. IV, fig. 62-73, Pl. V, fig. 1-27).

Exemples : Genre Inaperturopollenites (Thomson et Pflug 1953) Potonié et Kremp 1954

Genre Clavainaperturites van der Hammen et Wymstra 1964

B.- DIVISION AEQUATORINAPERTURATES (Lüber 1935) R. Potonié 1956 nov. nom. (fig. 27b, 56-57)

Ces Inaperturates sont pourvus de formations équatoriales dont les différents types vont définir les Sous-divisions. Cette division correspond aux Zonaletes (Lüber 1935) R. Potonié 1956.

1.- SOUS-DIVISION ZONALINAPERTURATES nov. subdiv. (fig. 24b, 56)

Ce sont des Aequatorinaperturates qui possèdent une zona.
Exemple : Genre Striatiporites Leschik 1955

2.- SOUS-DIVISION CINGULINAPERTURATES nov. subdiv. (fig. 24b, 57)

Il s'agit ici des Aequatorinaperturates qui montrent un cingulum.

Exemple : Genre Cingulaletes Hart 1965 (pro-parte)

C.- DIVISION PERININAPERTURATES Burger 1966 (fig. 24b, 58)

Cette Division groupe les Inaperturates munis d'un périne.
Exemples: Genre Peroaletes Bharadwaj et Singh 1963

GROUPE POLLENITES R. Potonié 1931

Ce groupe réunit les pollenospores qui se présentent en groupes ou isolés et qui sont munis d'une ou plusieurs ouvertures, avec sacs ou non. Quelques uns d'entre eux présentent une marque d'accolement. D'autres possèdent des

caractéristiques qui les particularisent. Les Sous-groupes se basent sur la manière dont se présentent généralement ces pollenospores; ils peuvent être en groupes ou isolés; dans le premier cas le nombre d'individus définira le sous-groupe (Pl. V, fig. 34-71, Pl. IX, fig. 1-43).

SOUS-GROUPE POLYADOPOLLENITES (Pant 1954) van der Hammen 1956 (fig. 24b, 59)

Ces Pollenites se présentent en groupes de plus de 4 individus. Ce sous-groupe est l'équivalent de Polyadites Pant 1954 (Pl. V, fig. 34-35).

Exemple : Genre Polyadopollenites Thomson et Pflug 1953

SOUS-GROUPE TETRADOPOLLENITES Cookson 1947 (fig. 24b, 60)

Ce sous-groupe rassemble les Pollenites habituellement réunis en tétrade. Il est l'équivalent de Tetradites Cookson 1947 (Pl. V, fig. 36).

Exemples : Genre Dicotetradites Couper 1953

Genre Amosopollis Cookson et Balme 1962

Genre Triporetetradites van Hoeken-Klinkenberg 1964

SOUS-GROUPE MONADOPOLLENITES nov. subgr. (fig. 24b, 62-87; fig. 24c, 88-129; fig. 24d- 23a- 115d)

Il s'agit ici de Pollenites habituellement recueillis à l'état isolé. Les Divisions sont établies d'après le type et la position des ouvertures ou bien d'après un caractère qui particularise les individus (Pl. V, fig. 37-71, Pl. IX, fig. 1-43).

I.- SUPERDIVISION PLURICELLULATES van der Hammen 1954 (fig. 24b, 62)

Dans cette superdivision, on trouve les Monadopollenites dont la partie interne est divisée en cellules plus ou moins arrangées afin de pouvoir remplir complètement la cavité. Van der Hammen utilise le nom Pluricellulites au niveau du genre.

Exemple : Genre Pluricellulites van der Hammen 1954

II.- SUPERDIVISION PROXAPERTURATES van der Hammen 1954 (fig. 24b, 63)

Ce sont des Monadopollenites portant une ouverture qui occupe une grande surface circulaire (à semi-circulaire) en position proximale. Les individus peuvent être trouvés en dyades. Van der Hammen utilise le nom Proxapertites au niveau du genre.

Exemple : Genre Proxapertites van der Hammen 1954

III.- SUPERDIVISION TUBERAPERTURATES nov. div. (fig. 24b, 55)

Ces Pollenites présentent un appareil germinal qui est une élévation de l'exine en forme d'une extension cylindrique ou conique appelée liquula ou papillus. Généralement un pore se trouve situé au bout de cette protubérance, Pl. V, fig. 28-33.

Exemples : Genre Cryptomeriapollenites (Kremp 1949) R. Potonié 1958

Genre Sequoiapollenites Thiergart 1938

IV.- SUPERDIVISION HIATAPERTURATES nov. superdiv. (fig. 24d, 63a)

Ces Monadopollenites sont munis d'une ouverture béante en forme de bec, qui divise l'individu en 2 parties égales. Cette ouverture, appelée hiatus, est plus ou moins importante suivant les individus.

Exemple : Genre Taxodiaceapollenites Kremp 1949

V.- SUPERDIVISION ULCATES Erdtman 1952 (fig. 24b, 64)

Les individus de cette superdivision sont des Monadopollenites portant une ouverture simple (ressemblant à un pore) située sur le pôle distale de l'individu ou dans le voisinage. Erdtman utilise dans ce sens le nom Ulcera-
tes (Pl. V, fig. 37-38).

Exemple : Genre Punctulcites nov. gen.

VI.- SUPERDIVISION OPERCULATES nov. superdiv. (fig. 24b, 65)

Dans cette superdivision, nous trouvons les Monadopollenites munis d'un couvercle ou operculum comme ouverture distale. Cet operculum a une forme circulaire et peut se détacher suivant une ligne parallèle à l'équateur mais sur la face distale de l'individu (Pl. V, fig. 39-49, Pl. V, fig. 63-65).

Exemple : Genre Spinoperculites nov. gen.

VII.- SUPERDIVISION PRAESULCATES Erdtman 1948 (fig. 24b, 66-69)

Il s'agit icides Monadopollenites qui possèdent une ouverture allongée (sulcus) dont le centre correspond au pôle distal. Ils peuvent présenter ou non une marque proximale qui peut être monolète, dilète, ou trilète. Lorsque la marque proximale n'existe pas, ils portent des striations sur la face proximale. Le type des ouvertures proximales vont définir les diverses divisions.

A.- DIVISION ALETEPRAESULCATES nov. div. (fig. 24b, 66)

Les individus groupés dans cette division sont des Praesulcates sans marque proximale qui montrent néanmoins des côtes ou des stries sur la face proximale.

Exemple : Genre Pakhapites Horst 1965

B.- DIVISION MONOPRAESULCATES nov. div. (fig. 24b, 67)

Les individus groupés dans cette division sont des Praesulcates dont la marque proximale est monolète.

Exemple : Espèce Schopfipollenites signatus Wilson 1962

C.- DIVISION DIPRAESULCATES nov. div. (fig. 24b, 68)

Ici se trouvent réunis les Praesulcates qui présentent une marque proximale dilète.

Exemple : Genre Schopfipollenites Potonié et Kremp 1954 (Pro-partie)

D.- DIVISION TRIPRAESULCATES nov. div. (fig. 24b, 69)

Ces Praesulcates présentent une marque proximale trilète.

Exemple : Genre Marsupipollenites Balme et Hennelly 1956

VIII.- SUPERDIVISION SULCATES nov. superdiv. (fig. 24b, 70-74)

Ces Monadopollenites sont munis d'un sulcus, c'est-à-dire d'une ouverture de forme allongée qui se situe sur la partie distale des individus et qui traverse l'axe polaire en angle droit (Erdtman 1952). La présence ou l'absence de formations équatoriales définissent les 2 divisions des Sulcates (Pl. V, fig. 51-71, Pl. VI, fig. 1-23).

La différence qu'existe entre cette superdivision et celle des Monocolpates réside dans le fait que les Sulcates présentent leur ouverture sur le pôle distal de l'individu tandis que celle des Monocolpates peut occuper n'importe quelle position sur la surface du grain.

A.- DIVISION NUDUSULCATES nov. div. (fig. 24b, 70-73; fig. 72a)

Il s'agit ici des Sulcates dépourvus de formations équatoriales. D'après les caractéristiques du sulcus, on peut distinguer 4 sous-divisions (Pl. V, fig. 51-71, Pl. VI, fig. 1-20).

1.- SOUS-DIVISION NAVISULCATES Anderson 1960 (fig. 24b, 70)

Ce sont des Nodusulcates à sulcus étroit, avec margo ou non, pouvant arriver ou non jusqu'à l'équateur. Les extrémités de cette ouverture sont toujours pointues, la partie moyenne est fermée ou plus ou moins ouverte. Cette sous-division est synonyme des Retectines Malawkina 1944, néanmoins je la propose ici afin d'uniformiser la classification du point de vue nomenclature. D'autre part, Anderson utilise le nom Navisulcites au niveau du genre (Pl. V, fig. 51-71; Pl. VI, fig. 11-12).

Exemple : Genre Punctanavisulcites nov. gen.

2.- SOUS-DIVISION CONFERTISULCATES Anderson 1960 (fig. 24b, 71)

Je vais utiliser le nom Confertisulcates pour grouper les Sulcatès dont l'ouverture, serrée, est en contact d'un bout à l'autre de la longueur du pollenospore; elle est généralement protégée uniquement par un pli large en forme de lèvre. Cette lèvre couvre le sulcus qui peut ou non arriver au contour équatorial de l'individu (Pl. VI, fig. 1-6). Anderson utilise le nom Confertisulcites au niveau du genre.

Exemple : Genre Psilaconfertisulcites nov. gen. Pl. VI, fig. 1-3

3.- SOUS-DIVISION DIPTYCHESULCATES Potonié 1958 (fig. 24b, 72) *nov. nom.*

Ce sont des Sulcates dont l'ouverture est protégée par deux plis plus ou moins larges. Les extrémités de l'ouverture sont pointues et celles-ci peuvent être plus ou moins ouvertes sur la partie moyenne (Pl. VI, fig. 7-16).

Exemple : Genre Bennettitaceaecuminella Malawkina 1953

4.- SOUS-DIVISION SERASULCATES nov. subdiv. (fig. 24d, 72a)

Il s'agit de Sulcates dont le sulcus, avec margo ou non montre des côtés parallèles avec des extrémités arrondies, légèrement dilatées, donnant l'aspect d'un trou de serrure; les côtés du sulcus peuvent être en contact mais ils ne sont jamais pliés ni tordus. Le sulcus est toujours plus court que la plus grande dimension du contour équatorial du grain. Cette sous-division englobe les Monoptyches Naumova 1937.
Exemple : Genre Rectosulcites Anderson 1960

5.- SOUS-DIVISION INTORTIESULCATES (Naumova 1937) R. Potonié en 1958 (fig. 24b, 73)

Les individus groupés dans cette sous-division sont des Sulcates dont l'ouverture, avec margo ou non, va jusqu'au contour équatorial où elle s'élargit plus ou moins en forme d'entonnoir. Les bords (ou lèvres) qui protègent l'ouverture peuvent être plus ou moins rapprochés sur la partie moyenne.
Exemple : Genre Cycadopites (Wodehouse 1933) Wilson et Webster 1946

B.- DIVISION AEQUATOROSULCATES Naumova 1937 nov. nom. (fig. 24b, 74-76)

Ces Sulcates de cette division sont munis des formations équatoriales et on y distingue 3 Sous-divisions basées d'après le type de ces formations. De tels individus ont été groupés sous le nom de Zonoptyches par Naumova en 1937 (Pl. VI, fig. 21-23).

1.- SOUS-DIVISION ZONALISULCATES nov. subdiv. (fig. 24b, 74)

Il s'agit ici des Aequatorosulcates munis d'une zona.
Exemple : Genre Verruzonalisulcites nov. gen. (Pl. VI, fig. 21-22)

2.- SOUS-DIVISION CINGULISULCATES (fig. 24b, 75)

Ce sont des Aequatorosulcates munis d'un cingulum (Pl. VI, fig. 23).
Exemple : Genre Bennettitaceaeinvoluta Malawkina 1953

3.- SOUS-DIVISION AURICULISULCATES nov. subdiv. (fig. 24b, 76)

Cette sous-division comprend les Aequatorosulcates munis d'une auricula sur chaque extrémité du sulcus.
Exemple : Genre Auriculiidites Elsik 1964

IX.- SUPERDIVISION TRICHOTOMOSULCATES Erdtman 1945 (fig. 24b, 77)

Ce sont des Monadopollenites dont l'ouverture distale a une forme tri-radiée. Le centre de celle-ci correspond au pôle de l'individu.
Exemple : Genre Trichotomosulcites (Erdtman 1945) Couper 1953

X.- SUPERDIVISION PRAECOLPATES Potonié et Kremp 1954 emend. (fig. 24d, 77a-77b)

Ce sont des Monadopollenites dont une face porte une ouverture allongée simple ou à extrémités arrondies, parallèle à l'axe le plus long de l'individu. Sur la face opposée, on trouve 2 sillons ou 4 demi-sillons fins, généralement recourbés et qui, chez certains individus, se joignent pour former un anneau; dans d'autres cas, on peut voir 2 sillons qui chevauchent sur le plan qui passerait perpendiculairement par le centre de l'ouverture de la face opposée (Pl. VI, fig. 75-78).

A.- DIVISION PRAEDICOLPATES nov. div. (fig. 24d, 77a)

Il s'agit ici de Praecolpates dont une face porte une ouverture allongée aux extrémités arrondies, parallèle à l'axe le plus long de l'individu; sur la face opposée, on trouve 2 petits "sillons" fins, courts généralement recourbés et qui, chez certains individus, se rejoignent en formant un anneau. A cause du manque de connaissances indiquant la position des individus dans la tétrade, on ne peut pas encore parler des faces proximales ou distales et par suite de colpus, sulcus, etc...

Exemple : Genre Eucommiidites (Erdtman 1948) Hughes 1961

B.- DIVISION PRAEDIDEMICOLPATES nov. div. (fig. 24d, 77b)

Ce sont des Praecolpates dont une face porte en son milieu une ouverture allongée fine, parallèle à l'axe le plus long de l'individu; sur la face opposée, on trouve 4 petits sillons, fins, placés deux par deux d'une manière sensiblement parallèle au contour de l'individu; la zone de séparation des demi-sillons se trouve à peu près sur le plan qui passerait perpendiculairement par le centre de l'ouverture de la face opposée qui divise le spécimen en 2 parties (Pl. VI, fig. 75-78).

Exemple : Psilapraedidemicolpites nov. gen.

XI.- SUPERDIVISION COLPATES nov. superdiv. (fig. 24b, 78-84; fig. 24d, 78a, 81a, 82a)

Ce sont des Monadopollenites avec un ou plusieurs colpus. Le nombre de colpus et leur position sur l'individu permet de déterminer les divisions suivantes (Pl. VI, fig. 24, Pl. VII, fig. 29).

A.- DIVISION MONOCOLPATES (Wodehouse 1935) Iversen et Troels-Smith 1950 (fig. 24b, 78; fig. 24d, 78a)

Il s'agit ici des Colpates qui possèdent un seul colpus sans position définie (Pl. VI, fig. 24-51).

1.- SOUS-DIVISION BREVIMONOCOLPATES nov. subdiv. (fig. 24b, 78)

Ce sont des Monocolpates dont le colpus a une longueur plus petite que la moitié de la plus grande circonférence de l'individu (Pl. VI, fig. 24-27).

Exemple : Genre Psilabrevimonocolpites nov. gen.

2.- SOUS-DIVISION LONGAMONOCOLPATES Hoeken-Klinkenberg 1964 nov. nom. (fig. 24d, 78a)

Ce sont des Monocolpates dont le colpus a une longueur plus grande que la moitié de la plus grande circonférence de l'individu. Koeken-Klinkenberg en 1964 donne le nom de Longapertati à l'infraturma comprenant ces mêmes individus, mais ici je modifierai ce nom afin de rendre plus uniforme la nomenclature.

Exemple : Genre Longapertites Hoeken-Klinkenberg 1964

B.- DIVISION DICOLPATES Erdtman 1947 (fig. 24b, 79)

Cette division réunit les Colpates qui possèdent 2 colpus généralement parallèles en position opposée (Pl. VI, fig. 52-61).

Exemple : Genre Dicolpites Erdtman 1947

C.- DIVISION TRICOLPATES Iversen et Troels-Smith 1950 (fig. 24b, 80, fig. 24d, 80a)

Les individus de cette division sont des Colpates avec 3 colpus ou trois paires de demi-colpus distribués équidistalement en position moyenne; généralement on trouve 3 plans de symétrie à travers les pôles et un sur l'équateur (Pl. VI, fig. 62, Pl. VII, fig. 28).

1.- SOUS-DIVISION TRIEUCOLPATES nov. div. (fig. 24b, 80)

Ce sont des Colpates dont les 3 colpus sont distribués en position méridienne.

Exemple : Genre Retitricolpites van der Hammen 1956

2.- SOUS-DIVISION TRIDEMICOLPATES nov. subdiv. (fig. 24d, 80a)

Il s'agit de Colpates dont les ouvertures sont en position méridienne, mais s'arrêtent au voisinage de l'équateur (= demi-colpus).

Exemple : Genre Pemphixipollenites Stover 1963

D.- DIVISION STEPHANOCOLPATES van der Hammen 1954 (fig. 24b, 81; fig. 24d, 81a)

Ces Colpates possèdent plus de 3 colpus (ou plus de 3 paires de demi-colpus) qui occupent une position méridienne et sont distribués de façon équidistale; il existe autant de plans de symétrie que de colpus, mais toujours un plan de symétrie sur l'équateur (Pl. VII, fig. 29).

1.- SOUS-DIVISION STEPHANEUCOLPATES nov. subdiv. (fig. 24b, 81)

Ces Colpates ont plus de 3 colpus en position méridienne et distribués équidistalement.

Exemple : Genre Clavastephanocolpites van der Hammen et Wymstra 1964

2.- SOUS-DIVISION STEPHANODEMICOLPATES nov. subdiv. (fig. 24d, 81a)

Ce sont des Colpates dont les ouvertures se trouvent en position méridienne mais au lieu de parcourir l'individu sur toute la longueur du méridien, elles s'arrêtent un peu avant l'équateur, ce qui donne des demi-colpus placés de 2 en 2 sur les lignes méridiennes.

Exemple : Genre Elaterocolpites Jardiné et Magloire 1963

XII.- SUPERDIVISION PERICOLPATES nov. superdiv. (fig. 24d, 82; fig. 82a)

Il s'agit ici des Monadopollenites avec plus de 2 colpus qui occupent une position non méridienne.

A.- DIVISION PERITRICOLPATES nov. div. (fig. 24b, 82)

Ces Pericolpates possèdent 3 colpus (Pl. VII, fig. 30-33).

Exemple : Punctaperitricolpites nov. gen.

B.- DIVISION PERIPOLYCOLPATES nov. div. (fig. 24d, 82a)

Ces Péricolpates montrent plus de 3 colpus ou petits colpus (rugae) distribués sur toute la surface de l'individu.

Exemple : Genre Rugaepollis Engelhardt 1966

XIII.- SUPERDIVISION SULCULATES nov. superdiv. (fig. 24b, 83-84; fig. 24d, 83a)

Les individus inclus dans cette superdivision sont des Monadopollenites munis d'une ou plusieurs ouvertures parallèles à l'équateur de l'individu et généralement situées entre celui-ci et le pôle distal (sulculus). Les divisions sont basées d'après le type de ces ouvertures et leur nombre (Pl. VI, fig. 52-56; Pl. VII, fig. 34-35).

A.- DIVISION ZONISULCULATES nov. div. (fig. 24b, 83)

Il s'agit ici des Sulcates dont l'ouverture forme une zone ou un anneau parallèle à l'équateur (Erdtman 1952) (Pl. VI, fig. 56, Pl. VII, fig. 34).

Exemples : Genre Psilazonisulculites nov. gen. Pl. VII, fig. 34

Genre Schizosporis Cookson et Dettmann 1959

Genre Syncolpites van der Hammen 1954

B.- DIVISION DISULCULATES (Erdtman 1947) Potonié 1960 (fig. 24d, 83a)

Ces Sulcates sont munis de 2 sulculus placés en position sub-équatoriale.

Exemples : Genre Disulcites (Erdtman 1947) Potonié 1960

Genre Psiladisulculites nov. gen (Pl. VI, fig. 52-55)

C.- DIVISION TRISULCULATES nov. div. (fig. 24b, 84)

Cette division groupe les Sulculates munis de 3 sulculus en forme de triangle placés en position sub-équatoriale, entre l'équateur et le pôle distal.

Exemple : Genre Verrutrisulculites nov. gen. Pl. VII, fig. 35
Genre Triangulopsis (Doring 1961) Pocock 1964

XIV.- SUPERDIVISION SYNCOLPATES nov. superdiv. (fig. 24b, 85-86; fig. 24d, 85a)

Les individus de cette superdivision sont des Monadopollenites dont les colpus se joignent sur les pôles.

A.- DIVISION SYNTRICOLPATES nov. div. (fig. 24b, 85; fig. 24d, 85a)

Ces Syncolpates ont 3 colpus ou 3 demi-colpus se joignant sur les pôles.

1.- SOUS-DIVISION SYNTRIEUCOLPATES nov. subdiv. (fig. 24b, 85)

Ce sont des Syncolpates dont les 3 colpus se rejoignent aux pôles.

2.- SOUS-DIVISION SYNTRIDEMICOLPATES nov. subdiv. (fig. 24d, 85a)

Il s'agit ici des Syncolpates dont les ouvertures s'arrêtent au voisinage de l'équateur, ce qui fait que l'on trouve 2 demi-colpus au lieu d'un colpus.

Exemple : Genre Syndemicolpites van Hoeken-Klinkenberg 1964

XV.- SUPERDIVISION PARASYNCOLPATES nov. superdiv. (fig. 24b, 86)

Ce sont des Monadopollenites dont les colpus qui se bifurquent présentent des branches se réunissant sur les pôles, en laissant intact une surface polaire de l'individu de forme polygonale (apocolpia). Les divisions suivantes se baseront d'après le nombre de colpus.

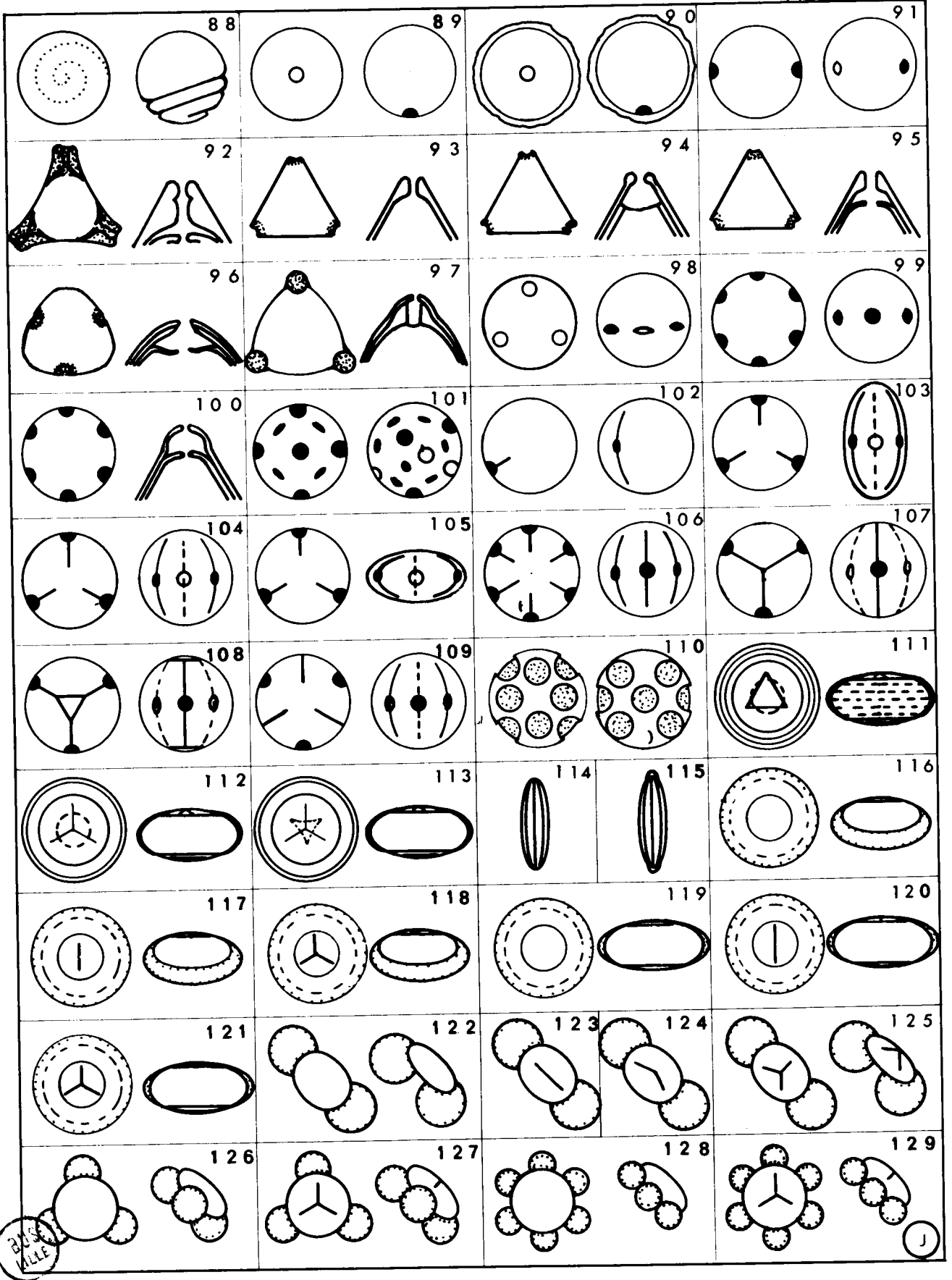
A.- DIVISION PARASYNTETRACOLPATES nov. div. (fig. 24b, 86)

Ce sont des Parasyncolpates qui présentent 4 colpus et un Apocolpia carrée.

1.- SOUS-DIVISION PARASYNTETRADEMICOLPATES nov. subdiv. (fig. 24b, 86)

Ce sont des Parasynctetracolpates dont les ouvertures ne sont pas de véritables colpus mais des demi-colpus (Pl. VII, fig. 36-43).

Exemple : Genre Punctaparasynctetrademicolpites nov. gen.



ALL
KILL

J

XVI.- SUPERDIVISION SIGMOIDAPERTURATES nov. superdiv. (fig. 24b, 87)

Ce sont des Monadopollenites dont l'ouverture présente la forme d'une courbe sigmoïdale.

Exemples : Genre Sigmopollis Hedlund 1955

Spécimens indéterminés fig. 13-19, Pl. LXXV, Macko 1957

XVII.- SUPERDIVISION SPIRAPERTURATES nov. superdiv. (fig. 24c, 88)

Il s'agit des Monadopollenites dont l'ouverture présente la forme d'une courbe en spirale.

Exemple : Espèce Syncolpopollenites vanderhammeni Nakoman 1966

XVIII.- SUPERDIVISION PORATES Naumova 1937, 1939 (fig. 24c, 89-101)

Ces Monadopollenites ont un ou plusieurs pores. Les divisions se basent sur le nombre de pores sur l'individu. Naumova groupe ces individus sous la Turma des Porosa (Pl. VII, fig. 45-69).

A.- DIVISION MONOPORATES Iversen et Troels-Smith 1950 (fig. 24c, 89-90)

Ce sont des Porates qui ne possèdent q'un seul pore et dont les sous-divisions seront établies d'après la présence ou l'absence de périne (Pl. VII, fig. 44-47).

1.- SOUS-DIVISION MONAPERINOPORATES nov. subdiv. (fig. 24c, 89)

Ces Monoporates sont dépourvus de périne.

Exemple : Genre Monoporopollenites (Meyer 1956) R. Potonié 1958

2.- SOUS-DIVISION MONOPERINOPORATES Burger 1966 (fig. 24c, 90)

Ces Monoporates sont munis de périne.

Exemple : Genre Perinopollenites Couper 1958

B.- DIVISION DIPORATES Naumova 1939

Cette division groupe les Porates qui possèdent 2 pores placés souvent en position opposée (Pl. VII, fig. 48-51).

Exemple : Genre Psiladiporites Varma et Rawat 1963

C.- DIVISION TRIPORATES Naumova 1939 (fig. 24c, 92-98)

Ces Porates montrent 3 pores généralement sur le plan équatorial ou en position sub-équatoriale. On les subdivisera d'après le type de structure prédominante des pores et l'indice du canal du pore; il existe un axe ternaire et presque toujours 1 plan de symétrie équatorial (Pl. VII, fig. 52-69).

1.- SOUS-DIVISION TRIEXTRAPORATES Thomson et Pflug 1952 nov. nom.
(fig. 24c, 92)

Ce sont des Triporates à pores équatoriaux. Le contour équatorial est triangulaire. Ils sont angulaperturates. L'indice du canal du pore est supérieur à 0,3. Il existe un axe polaire ternaire et un plan de symétrie équatorial. Les pores peuvent posséder une ou plusieurs des formations suivantes : annulus, vestibulum, praevestibulum, interloculum, solution meridium, oculus, incidence, cuneus et platea. J'amène ici au niveau de sous-division le genre Extratripoporopollenites de Thomson et Pflug, modifiant son nom.
Exemple : Genre Extratripoporopollenites Thomson et Pflug 1952

2.- SOUS-DIVISION TRIEUPORATES Thomson et Pflug 1953 nov. nom.
(fig. 24c, 93)

Ce sont des Triporates à pores équatoriaux. Leur contour équatorial est triangulaire à circulaire et leur indice de canal de pore est inférieur à 0,3. Ils peuvent posséder un labrum et un annulus mais sont dépourvus d'interloculum, de solution meridium, d'oculus de praevestibulum, de vestibulum, de postvestibulum et d'atrium. J'amène ici encore au niveau de sous-division le genre Tripoporopollenites de Thomson et Pflug en modifiant le nom (Pl. VII, fig. 52-55).

Exemple : Genre Tripoporopollenites Thomson et Pflug 1953

3.- SOUS-DIVISION TRIATRIOPORATES Thomson et Pflug 1953 nov. nom. (fig. 24c, 94)

Il s'agit ici des Triporates à pores équatoriaux. Le contour équatorial est triangulaire. Ils sont angulaperturates et leur indice de canal de pore est inférieur à 0,3. On trouve toujours un atrium et fréquemment un annulus, un labrum et une tumescence. Il n'y a jamais de praevestibulum, de vestibulum, d'interloculum, de solution medium et d'oculus. Je donne ici le niveau de sous-division au genre Triatriopollenites de Thomson et Pflug 1963 en lui changeant le nom (Pl. VII, fig. 56-59).

Exemple : Genre Triatriopollenites Thomson et Pflug 1953

4.- SOUS-DIVISION TRIVESTIBULOPORATES Thomson et Pflug 1953 nov. nom. (fig. 24c, 95)

Ce sont des Triporates à pores équatoriaux et dont le contour équatorial est triangulaire. Ils sont angulaperturates. Leur indice de canal de pore est inférieur à 0,3 et ils possèdent toujours un vestibulum alors que l'on y trouve seulement quelquefois un annulus, un labrum et une tumescence. Il n'existe jamais d'atrium, d'interloculum, de solution meridium, d'oculus et de praevestibulum. Cette sous-division correspond encore ici au genre Trivestibulopollenites de Thomson et Pflug 1963 (Pl. VII, fig. 60-67).

Exemple : Genre Trivestibulopollenites Thomson et Pflug 1953

5.- SOUS-DIVISION TRIINTRAPORATES Thomson et Pflug 1953 nov. nom. (fig. 24c, 96)

Ce sont des Triporates à pores équatoriaux dont le contour équatorial est triangulaire à circulaire et dont l'indice du canal du pore est inférieur à 0,3. On trouve toujours un posvestibulum, quelquefois un vestibulum, un annulus ou un labrum et même un tout petit colpus. On ne trouve jamais d'interloculum, de solution meridium ni d'oculus. Cette sous-division correspond au genre Intratriporopollenites Thomson et Pflug 1953.

Exemple : Genre Intratriporopollenites Thomson et Pflug 1953

6.- SOUS-DIVISION TRIOCULUPORATES nov. subdiv. (fig. 24c, 97)

Ce sont des Triporates à pores équatoriaux. Leur contour équatorial est triangulaire à arrondi et l'indice du canal du pore est inférieur à 0,3. Il y a aussi un oculus (L'endexine s'épaississant à la rencontre de l'orifice forme ainsi un bourrelet. Cet épaississement vu en plan forme un disque sombre. L'ectexine s'allongeant enveloppe le corps et les bourrelets en formant une voûte autour de l'orifice germinatif). Cette sous-division englobe le seul genre Corsinipollenites Nakoman 1965.

Exemple : Genre Corsinipollenites Nakoman 1965

7.- SOUS-DIVISION TRISUBPORATES Thomson et Pflug 1953 nov. nom. (fig. 24c, 98)

Ce sont des Triporates à pores sub-équatoriaux qui ne présentent donc pas de plan de symétrie équatorial. Ils ont un contour équatorial circulaire à sub-circulaire ou plus ou moins triangulaire. L'indice du canal du pore inférieur de 0,3. Il peut exister un postvestibulum peu développé mais il n'y a jamais d'interloculum, d'oculus, la solution meridium, de vestibulum, de labrum ni d'annulus. Pour de telles formes, Thomson et Pflug en 1953 ont créé le genre Subtriporopollenites que j'éleverai au niveau de sous-division.

Exemple : Genre Subtriporopollenites Thomson et Pflug 1953

D.- DIVISION STEPHANOPORATES van der Hammen 1954 (fig. 24c, 99-100)

Il s'agit ici des Porates qui montrent plus de 3 pores sur le plan équatorial ou sub-équatorial. Leur contour équatorial varie selon le nombre de pores. Ce sont des angulaperturates dont les sous-divisions sont établies en prenant en considération le type de formation des pores. Parfois on trouve un plan de symétrie équatorial, l'axe polaire est d'ordre variable.

1.- SOUS-DIVISION STEPHANEUPORATES nov. subdiv. (fig. 24c, 99)

Ces Stephanoporates angulaperturates ont plus de 3 pores équatoriaux ou subéquatoriaux. On trouve parfois un atrium, un annulus et un labrum. On n'y trouve jamais de vestibulum et de postvestibulum. Cette sous-division groupe les genres Stephanoporopollenites et Polyporopollenites Thomson et Pflug.

Exemple : Genre Polyporopollenites Pflug 1953

2.- SOUS-DIVISION STEPHANOVESTIPORATES Thomson et Pflug 1953
nov. nom. (fig. 24c, 100)

Ce sont des Stephanoporates à pores équatoriaux dont le contour équatorial présente une forme polygonale. Ils sont angulaperturates. Chaque pore est pourvu d'un vestibulum. Cette sous-division est l'équivalent du genre Polyvestibulopollenites Thomson et Pflug 1953.

Exemple : Genre Polyvestibulopollenites Thomson et Pflug 1953

XIX.- SUPERDIVISION PERIPORATES nov. superdiv. (fig. 24c, 101)

Ce sont des Porates dont les pores (toujours plus de 3) se trouvent distribués sur toute la surface de l'individu, il n'y a donc pas d'éléments de symétrie. Le contour équatorial est circulaire, sub-circulaire, elliptique ou polygonale. Cette superdivision groupe les genres Multiporopollenites et Periporopollenites Thomson et Pflug.

Exemple : Genre Periporopollenites Thomson et Pflug 1953

XX.- SUPERDIVISION COLPORATES nov. superdiv. (fig. 24c, 102-106)

Ces Monadopollenites possèdent un ou plusieurs colpus munis d'un pore. Le colpus peut être grand ou petit et le pore peut présenter différentes formations. Cette superdivision comprend plusieurs divisions qui sont établies d'après le nombre d'associations colpus-porus (Pl. VII, fig. 70-87).

A.- DIVISION MONOCOLPORATES nov. div. (fig. 24c, 102)

Ces Colporates ont un colpus portant un pore (Pl. VII, fig. 70-71)

Exemple : Genre Retimonocolporites nov. gen. Pl. VII, fig. 71

B.- DIVISION TRICOLPORATES Iversen et Troels-Smith 1950 (fig. 24c, 103-105)

Cette division réunit les Colporates qui possèdent 3 colpus méridiens portant chacun un pore équatorial. Cette division comprend ici les genres Porocolporopollenites Pflug 1953 (Sections Rotundoïde et Vestibuloïde c'est-à-dire les espèces dont le petit colpus est visible) et Tricolporopollenites Thomson et Pflug 1953. Les sous-divisions se baseront sur la forme du grain selon les critères utilisés par Erdtman en 1943; je les préfère à ceux utilisés par Thomson et Pflug parce qu'il est extrêmement difficile de déceler les caractéristiques concernant la caverna, la taille et la forme du pore autant de critères qui peuvent amener à des erreurs assez importantes dans le cadre de la classification. En outre je trouve que la forme est plus constante dans le cas des Tricolporates que dans celui des Tricolpates, ce qui permet de les ranger rapidement dans les 3 divisions d'Erdtman (Pl. VII, fig. 72-87).

1.- SOUS-DIVISION PROLATRICOLPORATES (Prolates) Erdtman 1943
(fig. 24c, 103)

Ce sont des Tricolporates dont l'axe polaire est plus long que l'axe équatorial (Pl. VII, fig. 72-82).

Exemple : Genre Araliaceipollenites R. Potonié 1951

2.- SOUS-DIVISION SPHAERATRICOLPORATES (Spheroïdates) Erdtman 1943 (fig. 24c, 104)

Ces Tricolporates ont un contour méridien circulaire (Pl. VII, fig. 83-85).

Exemple : Genre Myssapollenites Thiergart 1937

3.- SOUS-DIVISION OBLATRICOLPORATES (Oblates) Erdtman 1943 (fig. 24c, 105)

Ce sont des Tricolporates dont l'axe polaire est plus court que l'axe équatorial (Pl. VII, fig. 86-87).

Exemple : Genre Symplocoipollenites R. Potonié 1951

C.- DIVISION STEPHANOCOLPORATES nov. div.

Ces Colporates ont plus de 3 associations colpus-porus. Les colpus sont méridiens et les porus sont équatoriaux. L'axe polaire correspond à l'axe de symétrie. Il y a aussi un plan de symétrie équatorial.

Exemples : Genre Tetracolporopollenites Pflug et Thomson 1953

Genre Retistephanocolporites van der Hammen et Wymstra 1964

XXI.- SUPERDIVISION SYNCOLPORATES Ramanujam 1966 (fig. 246, 107-108)

Ce sont des Monadopollenites colporates dont les colpus se joignent aux pôles (Pl. VII, fig. 88).

A.- DIVISION SYNTRICOLPORATES nov. div.

Ces Syncolporates sont 3 associations colpus-porus.

Exemple : Genre Syncolporites van der Hammen 1954

XXII.- SUPERDIVISION PARASYNCOLPORATES nov. superdiv. (fig. 24c, 108)

Ces Monadopollenites sont colporates dont les colpus se bifurquent et les branches se réunissent sur les pôles, en laissant intacte une surface polaire de l'individu de forme polygonale (apocolpia); les divisions se basent sur le nombre de colpus.

A.- DIVISION PARASYNTRICOLPORATES nov. div. (fig. 24c, 108)

Ces Parasyncolporates ont 3 colpus. L'apocolpia est triangulaire.

Exemples : Espèce Cupanieidites onthoteichus Cookson et Pike 1954

Espèce Syncolporites minutus van Hoeken-Klinkenberg 1964

Genre Duplopollenites (Kruttsch 1959) Nakoman 1966

XXIII.- SUPERDIVISION PORO-COLPATES nov. superdiv. (fig. 24c, 109)

Il s'agit ici des Monadopollenites avec pores et colpus indépendants. Les pores se trouvent au milieu des zones délimitées par 2 colpus (mesocolpia).

Les pores sont équatoriaux.

A.- DIVISION TRIPORO-TRICOLPATES nov. div. (fig. 24c, 109)

Ces Porocolpates ont 3 pores et 3 colpus.

Exemple : Genre Psilatripoporotricolpites nov. gen. (Pl. VII, fig. 89)

XXIV.- SUPERDIVISION FENESTRATES (Fenestrites) van der Hammen 1956 emend. (fig. 24c, 110)

Ce sont des Monadopollenites ayant une surface recouverte de "pseudo-pores" (lacunes); ce sont des aires extrêmement minces arrangés symétriquement (ou non) sur la surface des individus; elles sont dues généralement au manque de tectum sur ces régions. C'est van der Hammen qui a utilisé le premier le nom Fenestrites que j'ai attribué à cette superdivision mais il l'a utilisé au niveau du genre (Pl. VIII, fig. 25).

Exemple : Genre Fenestripollenites (van der Hammen 1956) Nakoman 1966

XXV.- SUPERDIVISION RIMULATES nov. superdiv. (fig. 24d, 110a)

Ces Monadopollenites présentent une marque d'accolement en forme de Y ou en forme de triangle et un anneau-tenuitas ou rimula distale. Cette rimula étant un anneau dont l'exine est plus mince.

Exemples : Genre Discisporites (Leschik) De Jersey 1964

Genre Circulina Malajawkina 1949

XXVI.- SUPERDIVISION AEQUATORANNULATES Burger 1966 (fig. 24c, 111-113)

Ce sont des Monadopollenites du type du genre Classopolis de la division des Circumpolles (Pflug 1953) Klaus 1960 et des Operculatae Kuyf, Muller et Waterbolk 1955. Ces individus sont caractérisés par un épaississement équatorial, en forme de ceinture, strié ou non, et par la présence d'une ouverture distale ainsi que d'une marque d'accolement proximale qui n'a pas un caractère germinatif. Les divisions ont pour base la présence ou l'absence de stries sur la bande équatoriale (Pl. VIII, fig. 8-25).

A.- DIVISION ENDOSTRIATES Burger 1966 (fig. 24c, 111)

Ces Aequatorannulates ont une bande équatoriale striée.

Exemples : Genre Classopolis (Pflug 1953) Pocock et Jansonius 1961.

Genre Punctendostriatites nov. gen. (Pl. VIII, fig. 8-11)

B.- DIVISION ASTRIATES nov. div. (fig. 24c, 112-113)

Ces Aequatorannulates qui ont une bande équatoriale non striée se distribueront à l'intérieur de 2 sous-divisions d'après la forme de l'ouverture distale (Pl. VIII, fig. 10-25).

1.- SOUS-DIVISION POLYGONASTRIATES nov. subdiv. (fig. 24c, 112)

Ce sont des Astriates avec une ouverture distale à circulaire ^{ou} polygonale.
(Pl. VIII, fig. 12-21)

Exemples : Genre Punctapolygonastriatites nov. gen.
Espèce Classopolis simplex De Jersey 1964
Genre Classoidites Ameron 1965

2.- SOUS-DIVISION TRIANGULASTRIATES nov. subdiv. (fig. 24c, 113)

Ce sont des Astriates avec une ouverture distale triangulaire (Pl. VIII, fig. 22-25).

Exemple : Genre Scabratrianqulastriatites nov. gen.

XXVII.- SUPERDIVISION COSTATES nov. superdiv. (fig. 24c, 114-115; fig. 24d, 115a-115d)

Ces Monadopollenites sont de forme ovale ou fusiforme, avec des murailles parallèles longitudinales ou en hélice qui peuvent être internes (sur le corps central) ou externes (sur l'ectexine). Ces murailles (ou côtes) sont séparées par des sillons ou l'on trouve, chez certains individus, des colpus qui peuvent être sinueux, branchus, en zig-zag ou droits. Les côtes peuvent d'autre part être lisses, rugueuses, scabrées, etc... et c'est ce type de sculpture qui définira les genres, car les côtes étant considérées comme un des caractères de base de la superdivision ne peuvent pas être considérées, comme caractère d'ornementation. Chez les grains colpates et polycolpates, on ne peut pas parler de "pôle proximale" ou "pôle distale" car on ne connaît pas exactement la position du grain dans la tétrade, c'est pourquoi il faut utiliser les termes d'axe longitudinal, longueur maximum et largeur maximum. Chez les grains qui présentent une côte circulaire continue, on considère que celle-ci occupe la position équatoriale. Chez les grains monocolpates, on considère que le pôle distale part au centre du colpus (sulcus ?). Je diviserai cette superdivision en 4 divisions d'après la façon dont se terminent les côtes aux extrémités longitudinales des individus, ainsi que d'après la présence de sacs rudimentaires sous forme d'épaississement de l'ectexine aux extrémités longitudinales des grains qui peuvent être couverts par les côtes ou non.

A.- DIVISION MISCERECOSTATES nov. div. (fig. 24d, 115a)

Ce sont des Costates dont les côtes disparaissent progressivement aux extrémités longitudinales, laissant libre une aire plus ou moins grande sur ces extrémités.

1.- SOUS-DIVISION AMISCERECOSTATES nov. subdiv.

Il s'agit des Miscerecostates acolpates.

Exemples : Espèce Polyplacodites vanegensis van der Hammen et Garcia de Moutis 1964
Espèce Equisetoposites hughessi Pocock 1964

2.- SOUS-DIVISION POLYMISCERECOSTATES nov. subdiv.

Ce sont des Miscerecostates polycolpates.

Exemples : Genre Gnetaceapollenites Thiergart 1958
Espèce Equisetosporites rugulatus Pocock 1964

B.- DIVISION STATIUCOSTATES nov. div. (fig. 24a, 115b)

Chez ces Costates, les côtes se terminent aux extrémités longitudinales sans disparaître. Ces côtes s'arrêtent brutalement.

1.- SOUS-DIVISION ASTIUCOSTATES nov. subdiv.

Il s'agit de Statiucostates acolpates, c'est-à-dire dépourvus de Colpus.

Exemples : Espèce Equisetosporites jansonii Pocock 1964
Genre Welwitschiapites Bolchovitina 1953 (pro-parte)

C.- DIVISION CONTINUUCOSTATES nov. div. (fig. 24d, 115c)

Ce sont des Costates dont l'une ou toutes les côtes sont continues autour du grain; s'il n'y en a qu'une seule, elle est considérée comme étant en position équatoriale; les autres côtes arrivent sur l'extrémité en position opposée. Les sous-divisions seront basées sur l'existence du colpus.

1.- SOUS-DIVISION ACONTINUUCOSTATES nov. subdiv.

Ces Continuucostates sont acolpates.
Exemple : Espèce Equisetosporites saskatoonensis Pocock 1964

2.- SOUS-DIVISION POLYCONTINUUCOSTATES nov. subdiv.

Ces Continuucostates sont polycolpates.
Exemple : Espèce Equisetosporites markovii Pocock 1964

D.- DIVISION TUMULUCOSTATES nov. div. (fig. 24d, 115d)

Cette division groupe des Costates qui montrent à chaque extrémité longitudinale une protubérance plus ou moins prononcée en forme de mamelon (tumulus) dont l'ectexine, présentant un fort épaissement semble présenter une forte tendance à se détacher de l'endexine par intermédiaire d'une fine couche baculée qui est à la base de l'ectexine. Ces tumulus semble être à l'origine de sacs rudimentaires qui aboutiraient aux sacs du type des genres Vittatina Lüber et Aumancisporites (Alpern) Jansonius 1962. Les sous-divisions sont basées sur les colpus.

1.- SOUS-DIVISION ATUMULUCOSTATES nov. subdiv.

Ces Tumulucostates sont acolpates.
Exemples : Espèce Equisetosporites concinnus Singh 1964
Espèce Welwitschiapites striatus Deak 1963
Espèce Equisetosporites rouseii Pocock 1964

2.- SOUS-DIVISION MONOTUMULUCOSTATES nov. subdiv.

Il s'agit des Tumulucostates monocolpates.
Exemple : Espèce Welwitschiapites simplex Deak 1963

XXVIII.- SUPERDIVISION SACCATES Erdtman 1947 (fig. 24c, 114-129)

Ces Monadopollenites portent un ou plusieurs sacs à air. Ils peuvent sur leur face proximale montrer ou non une marque qui peut être monolète, dilète ou trilète. Les divisions se basent sur le nombre de sacs; dans le cas des monosaccates toutefois, elles se baseront sur la façon dont s'attache le sac au corpus (Pl. VIII, fig. 27, Pl. IX, fig. 19).

A.- DIVISION MONOPOLSACCATES Hart 1965 (fig. 24c, 116-118)

Ce sont des Monosaccates dont le sac est attaché soit sur la partie proximale, soit sur la partie distale du corpus. Le type de la marque va définir les sous-divisions (Pl. VIII, fig. 27-40).

1.- SOUS-DIVISION ALETEMONOPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 116)

Ce sont des Monopolsaccates sans marque proximale.

Exemples : Genre Sehorisporites Sukh-Dev 1961
Genre Paleoconiferus Bolchovitina 1956
Genre Florinites S.W. et B. 1944

2.- SOUS-DIVISION MONOLETEMONOPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 117)

Ces Monopolsaccates ont une marque monolette

Exemple : Genre Potoniesporites Bharadwaj 1954

3.- SOUS-DIVISION TRILETEMONOPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 118)

Ces Monopolsaccates ont une marque trilète.

Exemple : Genre Endosporites Wilson et Coe 1940

B.- DIVISION DIPOLSACCATES Hart 1965

Ce sont des Monosaccates dont le sac est attaché tant sur la face distale que sur la face proximale du corpus. Le type de la marque définira les sous-divisions.

1.- SOUS-DIVISION ALETEDIPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 119)

Ce sont des Dipolsaccates sans marque proximale.

Exemples : Genre Cordaitina Samoïlovich 1953 (Pro-parte)
Genre Striomonosaccites (Bharadwaj 1962) Hart 1965
Genre Araucariacites Cookson 1947

2.- SOUS-DIVISION MONOLETEDIPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 120)

Il s'agit de Dipolsaccates avec une marque monolète.

Exemple : Genre Costapollenites Tschudy et Kosanke 1966

3.- SOUS-DIVISION TRILETEDIPOLSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 121)

Ce sont Dipolsaccates avec une marque trilète.

Exemple : Nuskoisporites Potonié et Klaus 1954

C.- DIVISION DISACCATES Cookson 1947 (fig. 24c, 122-125)

Ces Saccates possèdent deux sacs placés symétriquement sur le corpus. Les sous-divisions se baseront sur la présence ou l'absence d'une marque monolète, dilète ou trilète en position proximale. L'ouverture germinale se trouve en position distale au milieu des sacs (Pl. VIII, fig. 41, Pl. IX, fig. 15).

1.- SOUS-DIVISION ALETEDISACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 122)

Il s'agit des Disaccates dont le corpus ne présente aucune marque proximale. Dans cette subdivision sont inclus les disaccates de l'Infra-turma Striatiti Pant 1954 ainsi que les Disacciatriletes Leschik 1954 (Pl. VIII, fig. 41, Pl. IX, fig. 15).

Exemple : Genre Pityosporites (Seward 1914) Manum 1960

Genre Aumancisporites (Alpern) Jansonius 1962

2.- SOUS-DIVISION MONOLETEDISACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 123)

Ce sont des Disaccates dont le corpus présente une marque proximale monolète.

Exemple : Genre Vittatina (Lüber, Wilson 1962) Tschudy et Kosanke 1966

3.- SOUS-DIVISION DILETEDISACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 124)

Ce sont des Disaccates dont le corpus présente une marque dilète proximale.

Exemple : Genre Jugasporites Leschik 1956

4.- SOUS-DIVISION TRILETEDISACCATES (Disaccitriletes) Leschik 1956 nov. nom. (fig. 24c, 125)

Il s'agit de Disaccates dont le corpus présente une marque trilète proximale.

Exemple : Genre Parasporites Schopf 1938

D.- DIVISION TRISACCATES Leschik 1956 (fig. 24c, 126-127)

Ces Saccates possèdent 3 sacs placés symétriquement sur le corpus. Ils peuvent montrer ou non, sur la partie proximale de leur corpus, une marque trilète; ce caractère va définir les sous-divisions. L'ouverture germinale se trouve au milieu des sacs sur la partie distale (Pl. IX, fig. 16).

1.- SOUS-DIVISION ALETETRISACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 126)

Chez ces Trisaccates le corpus ne montre aucune marque proximale. Dans cette subdivision sont inclus les Trisaccates striés sur la partie proximale du corpus. Pl. IX, fig. 16.

Exemples : Genre Crustaesporites Leschik 1956

Espèce Alatisporites reniformis (Wilson 1962) Hart 1965

2.- SOUS-DIVISION TRILETETRISACCATES nov. subdiv.(fig. 24c, 127)

Chez ces Trisaccates le corpus montre une marque trilète proximale.

Exemple : Espèce Alatisporites cantricus (Leschik 1956) Hart 1965

E.- DIVISION POLYSACCATES Cookson 1947 (fig. 24c, 128-129)

Cette division groupe les Saccates possédant plus de 3 sacs. Les sacs sont distribués symétriquement sur la partie distale des corpus ou non; certains individus présentent une marque proximale. Chez quelques individus les sacs pouvant se trouver même sur la face proximale l'ouverture germinale est distale. Pl. IX, fig. 17-19.

1.- SOUS-DIVISION ALETEPOLYSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 128)

Ces Polysaccates n'ont pas de marque proximale.

Exemples : Genre Cerebropollenites Nilson 1958

Genre Punctamultivesiculites Pierce 1961

2.- SOUS-DIVISION TRILETEPOLYSACCATES nov. subdiv. (fig. 24c, 129)

Ces Polysaccates ont une marque proximale trilète.

Exemple : Espèce Alatisporites splendidus Alpern 1958.

