

# L'Autunien d'Autun reste-t-il une référence pour les dépôts continentaux du Permien inférieur d'Europe ? Apport des données paléobotaniques\*

Jean BROUTIN <sup>(1)</sup>

Jean-Jacques CHATEAUNEUF <sup>(2)</sup>

Jean GALTIER <sup>(3)</sup>

Ausonio RONCHI <sup>(4)</sup>

*The Autunian of Autun: will it remain a reference for the Early Permian continental deposits in Europe?*

Géologie de la France, n° 2, 1999, pp. 17-31, 5 fig., 3 tabl.

Mots-clés : Stratotype, Autunien, Flore, Palynomorphe, Saône-et-Loire, Europe.

Key words: Stratotype, Autunian, Flora, Palynomorphs, Saône-et-Loire, Europe.

## Résumé

*C'est Mayer-Aymar (1881) qui, le premier, a pris les dépôts sédimentaires à schistes bitumineux du bassin d'Autun comme type d'un étage, sous le terme « Autunin », la dénomination « Autunien » actuellement adoptée étant introduite par Bergeron (1889). Il s'agit d'une série de grès et d'argilites carbonatées ou carbonées, à nombreuses passées de schistes bitumineux, superposée au Stéphaniens d'Épinac et recouverte en discordance par le Trias de la colline de Curgy. La définition de l'étage " Autunien ", considéré comme le faciès continental correspondant à l'Artinskien marin, a été établie par Munier-Chalmas et de Lapparent (1893). Les faunes et les flores exceptionnelles de ce bassin ont donc été utilisées, dès le 19<sup>ème</sup> siècle, par de nombreux stratigraphes et paléontologues. Par comparaison avec les séries permienues qu'ils étudiaient, ils ont ainsi introduit l'étage « Autunien » dans la*

*nomenclature stratigraphique de leurs bassins, ceci en dépit de la piètre qualité du stratotype (mauvaises conditions d'affleurement ; limites inférieure et supérieure difficiles à établir, lithologiquement et paléontologiquement, en l'absence de coupes complètes continues).*

*Les données sur la paléoflore, connues de longue date, ont été revues par les auteurs et synthétisées sous la forme de trois tableaux : végétaux en empreintes, végétaux silicifiés et spores - grains de pollen. Au total, près de 178 « espèces » de macrorestes et 109 « espèces » de spores et grains de pollen ont été répertoriées. Des équivalents de ces associations ont été reconnus par les biostratigraphes dans les domaines continentaux ibérique, germanique et Est-européen, autorisant des corrélations avec les séries correspondantes du Permien inférieur. C'est ainsi que les corrélations entre l'Autunien d'Autun, l'Unteres-Rotliegende d'Allemagne et l'Asselien-Sakmarien du bassin du*

*Donetz, initialement établies à partir des flores, ont été ultérieurement confirmées par les faunes.*

*Tout dernièrement, le travail de thèse de l'un d'entre nous (A.R.) a permis de mettre en évidence des assemblages macro- et microfloristiques dans le Permien inférieur de la Sardaigne. Ces paléoflores sont remarquablement similaires à celles définies dans le bassin d'Autun. Ainsi se trouve élargie vers le Sud-Est " méditerranéen " la zone paléogéographique renfermant des flores autuniennes significatives.*

*Compte tenu de la médiocre qualité des affleurements du « stratotype » d'Autun, de nombreux auteurs se sont opposés à son utilisation comme étage du Permien inférieur. Nous considérons, pour notre part, que les nombreuses références aux paléoflores de l'Autunien d'Autun, qui ont été publiées, restent valables. Nous proposons qu'en l'absence, pour le*

(\*) Manuscrit déposé le 23 décembre 1998, accepté le 26 avril 1999.

(1) UPMC, Paléobotanique et Palynologie évolutives, 12, rue Cuvier, 75005 Paris.

(2) BRGM, Géologie, Mine, International, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 02.

(3) USTL, Paléobotanique, 5 place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05.

(4) Univ. di Pavia, Scienze della Terra, via Ferrata 1, 27100 Pavia, Italie.

moment, de « parastratotype de substitution », le contenu biostratigraphique de « l'Autunien d'Autun » continue d'être regardé comme caractérisant le Permien inférieur en domaine continental, pour une période comprise entre le Ghzélien terminal et le Sakmarien inférieur. Un stratotype, géologiquement plus complet, comportant un cortège biostratigraphique équivalent, devra être recherché en domaine continental.

### Extended abstract

Mayer-Aymar (1881) was the first to consider the oil-shale-bearing sedimentary deposits of the Autun Basin as representing the type succession of a stage that he named 'Autunin'; the currently accepted appellation of 'Autunian' was introduced by Bergeron (1889). The succession, which overlies the Stephanian at Epinac and is unconformably overlain by the Triassic of Cury Hill, comprises sandstone and carbonated or carbonaceous argillite with many oil-shale bands. Over a century of coal and oil-shale mining in the Autun Basin and recent mapping surveys have provided a large amount of paleontological material on the basis of which it has been possible to draw up detailed stratigraphic sections of the Carboniferous and Permian successions (Fig. 2). A refinement and a review have recently been published concerning this sedimentological and stratigraphic work (Marteau and Feys in Chateauneuf and Farjanel, 1989; Chateauneuf et al., 1992a, b).

The 'Autunian' stage, considered as comprising continental facies corresponding to the marine Artinskian deposits, was defined by Munier-Chalmas and de Lapparent (1893).

Since the 19<sup>th</sup> Century, the exceptional fauna and flora of the Autun Basin have been used by numerous stratigraphers and paleontologists for biostratigraphic interpretation. Based on comparison between the floral content of the studied Permian successions and the associations of the Autun Basin, the 'Autunian' stage was introduced to stratigraphic nomenclature, despite the poor quality of the stratotype (poor outcrop conditions; difficulties in establishing the lower and upper lithological and paleontological boundaries; lack of continuous complete sections).

Data on the paleoflora dating back to the last century (Roche, 1880; Grand'Eury, 1877, Zeiller, 1890; Renault, 1893-1896) have been revised by the authors and are summarized in three tables: plant imprints (Table 1a, b), silicified plants (Table 2), and spores and pollen (Table 3a, b). About 178 macro-remains 'species' and 109 spore and pollen 'species' have been recorded.

The stratigraphic distribution and evolution of this flora during Stephanian and Permian times is largely debated from both a qualitative and quantitative standpoint, particularly for the transition successions between these two periods (Fig. 4).

Equivalents of these associations have been recognized by biostratigraphers in continental domains throughout Europe, from the Iberian Peninsula to the Urals (Fig. 5).

In 1920 Patac recorded the presence of 'Callipteris' conferta and *Walchia* spp. in the Pola de Siero region of the Cantabrian Cordillera. Callipterids-bearing paleoflora was later described in the Iberian Cordillera and Central System (Sopeña, 1979), and also along the southern boundary of the Iberian meseta (Brouin, 1986). The same 'Autunian' associations have been recognized in northern Switzerland (Hochuli, 1985), Saar-Nahe (many publications on the correlation between the Unter-Rotliegende and Autun successions) and Thuringia, where complete reference successions contain a rich flora and fauna including the *Autunia*- and *Walchia*-bearing associations described at Autun. An excellent summary of this work is given in Andreas and Haubold (1975).

Farther east, in Saxony, the Döhlener and Erzgebirgisches formations contain a similar flora to that of the Surmoulin and Millery beds of the Autun Basin. In Bohemia and Moravia, the Chvalec Formation (Holub, 1972, 1977) and the Rudník and Háje horizons (Rieger, 1968; Simunek and Drabkova, 1997) have yielded a comparable flora that is also found farther south in the Moravia intramontane basins (Blanice and Boskovice) and on the other side of the Polish border (Jerzykiewicz, 1987; Lipiarski, 1971). In upper Silesia and Pomerania, *Autunia*- and *Walchia*-bearing macroflora and

pollen associations dominated by 'monosaccates' have also been correlated with those in the 'Autunian' of the Autun Basin. They are also present in the Donetz and Ural basins in sediments containing interbeds with marine fauna.

More recently, doctoral research carried out by one of us (A.R.) has demonstrated the presence of macro- and micro-floral assemblages in the Lower Permian of Sardinia that are remarkably similar to the associations defined in the Autun Basin (Ronchi et al., 1998; Barca et al., 1991). The paleogeographic zone enclosing significant 'Autunian' flora is thus extended towards the southeast 'Mediterranean' zone.

Although the isolated occurrence of *Walchia* and *Autunia* genera and of the pollen *Potonieisporites* in a sediment is not sufficient to assign it to the Early Permian or 'Autunian', thus accurately situating the Carboniferous to Permian transition, the quantitative evolution of this flora is fairly characteristic, reflecting a progressive change over this geological period from a palustrine and humid environment to a drier and/or higher environment. This evolution was widespread and more or less concomitant throughout Europe.

In conclusion, it must be pointed out that many authors are opposed to the use of 'Autunian' as an Early Permian stage because of the poor quality of the Autun stratotype outcrops. We nevertheless consider that most of the numerous published references to the 'Autunian' paleoflora of the Autun Basin are valid. In the absence of a substitute parastratotype, we propose that the 'Autunian' biostratigraphic content of the Autun Basin continues to be considered as characteristic of the continental Early Permian from the Latest Ghzélien to the Early Sakmarien (-296 to -286 Ma). A geologically more complete stratotype containing an equivalent biostratigraphic suite should be looked for in the continental domain.

### Introduction

La série du bassin d'Autun (fig. 1) a été érigée en étage par C. Mayer-Eymar en 1881, puis rapportée au Permien inférieur par G. Bergeron en 1889. La définition de l'étage est due à E. Munier-Chalmas et A. de Lapparent en 1893, qui

à cette époque en font « le faciès continental » correspondant à l'Artinskien marin.

Des coupes stratigraphiques détaillées de ce bassin sont dues à Delafond (1889) puis à Pruvost (1947). Des levés cartographiques ont été effectués par Marteau (1983) et par Feys (1988, 1991). La richesse en fossiles de cette série argilo-détritique et, en particulier, des couches bitumineuses, n'a cessé d'attirer depuis le 19<sup>ème</sup> siècle des paléozoologues et des paléobotanistes, entre autres : Roche (1880), Zeiller (1890), Renault (1893-1896), Doubinger (1956 - 1982), Heyler (1969), Galtier (1980). Cette recherche paléontologique a été grandement facilitée par les nombreux travaux ou les exploitations de charbon et de schistes durant plus d'un siècle et par la création à Autun même d'un Museum d'histoire naturelle où tous ces restes ont été recueillis, répertoriés et mis à disposition d'un grand nombre de scientifiques pour détermination, publication ou comparaison avec du matériel européen d'âge équivalent. Le défaut majeur de ce stratotype tient essentiellement au fait qu'on ne peut pas y définir avec précision, lithologiquement et paléontologiquement, ses limites inférieure et supérieure.

Les rapports de l'Autunien avec le Stéphanien ont été longuement discutés depuis F. Delafond (1889) et P. Pruvost (1947) par de nombreux auteurs (Bouroz et Doubinger 1974, 1977 ; Doubinger et Langiaux 1982 ; Becq-Giraudon *et al.*, 1995). Dans le bassin d'Autun, la limite supérieure de l'étage n'existe pas, car les couches de la série autunienne sont directement recouvertes par le Trias ou le Cénozoïque.

On trouvera, dans les publications les plus récentes, une mise au point et une synthèse des travaux de stratigraphie (fig. 2) sur ce bassin (Marteau et Feys in Chateaneuf et Farjanel, 1989 ; Chateaneuf *et al.*, 1992a et 1992b). Les arguments développés dans le présent travail de synthèse ne concernent que les

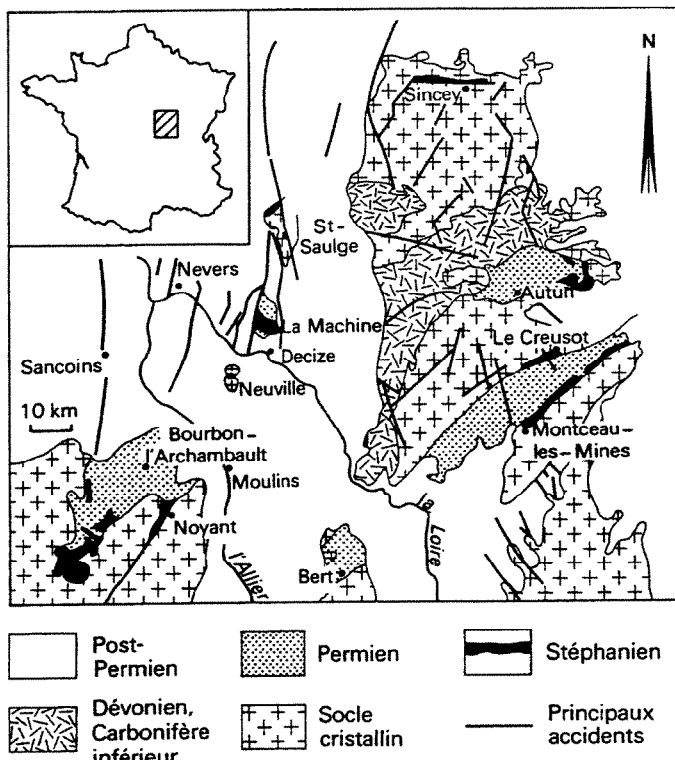


Fig. 1.- Le Stéphanien et le Permien de la bordure nord-est du Massif central français. Situation du bassin permien d'Autun.

Fig. 1.- Location of the Autun Permian basin within the Late Hercynian geological setting of the North-Eastern edge of the French Massif Central.

<b>AUTUNNIEN SUPERIEUR</b>	Limite supérieure inconnue
	<b>ASSISE DE MILLERY</b> Incluant les arkoses argileuses à rubéfaction de Curgy, en variations latérales
<b>AUTUNNIEN INFÉRIEUR</b>	<b>ASSISE DE SURMOULIN</b>
	<b>ASSISE DE MUSE</b>
	<b>ASSISE D'IGORNAY</b> Avec couche de Lally à la base
<b>STEPHANIEN MOYEN</b>	Faisceau houiller de Moloy. Grès charbonneux des Pelletiers. Argilites varvées du centre du bassin. Grès conglomératiques (Zone Ouest du Mont-Pelé).
	<b>HOULLER PRODUCTIF D'EPINAC</b> , grès et conglomérats du Mont-Pelé Zone Est (avec argilites et minces couches de charbon)

Fig. 2.- Stratigraphie de l'Autunien du bassin d'Autun. D'après Chateaneuf et Farjanel, 1993, modifié.

Fig. 2.- Stratigraphy of the Autunian section in the Autun Basin. Modified after Chateaneuf and Farjanel, 1993.

	Mont-pelé	Igornay	Muse	Millery
<i>Sigillaria brardii</i>	+	+		+
<i>Eusigillaria</i> sp.				+
<i>Stigmara ficoides</i>	+			+
<i>Syringodendron alternans</i>		+		
<i>Syringodendron</i> sp.	+			
<i>Calamites cistii</i>	+			
<i>Calamites cruciatus</i>	+			
<i>Calamites gigas</i>	+			
<i>Calamites suckowii</i>	+			+
<i>Calamites undulatus</i>	+			
<i>Annularia stellata</i>	+	+	+	+
<i>Annularia sphenophylloides</i>	+	+		+
<i>Asterophyllites equisetiformis</i>	+	+	+	+
<i>Asterophyllites longifolius</i>				+
<i>Macrostachya carinata</i>	+	+		
<i>Sphenophyllum oblongifolium</i>	+	+		
<i>Sphenophyllum angustifolium</i>		+		
<i>Zygopteris pinnata</i>	+			
<i>Pecopteris arborescens</i>	?			
<i>Pecopteris bredovii</i>	+			+
<i>Pecopteris candolleana</i>	+	+	+	+
<i>Pecopteris cyathea</i>	+	+	+	+
<i>Pecopteris daubreii</i>	+			
<i>Pecopteris densifolia</i>	+	?	+	+
<i>Pecopteris foeminaeformis</i>	+	+		
<i>Pecopteris hemitelioides</i>	+	+		
<i>Pecopteris paleacea</i>	+			
<i>Pecopteris pectinata</i>	+			
<i>Pecopteris platonii</i>	+	+		
<i>Pecopteris plumosa-dentata</i>	+			
<i>Pecopteris polymorpha</i>	+	+		+
<i>Pecopteris subelegans</i>				+
<i>Pecopteris unita</i>	+	+		
<i>Sphenopteris binurica</i>	+			
<i>Sphenopteris castelii</i>	+			
<i>Sphenopteris mathetii</i>	+			
<i>Sphenopteris microphylla</i>	+			
<i>Sphenopteris (Ovopteris) pecopteroides</i>	+			
<i>Alethopteris bohémica</i>	+			
<i>Alethopteris zeillerii</i>	+	+		
<i>Alethopteris leonensis</i>	+			
<i>Callipteridium gigas</i>		+	+	+
<i>Callipteridium pseudogigas</i>	+			
<i>Callipteridium pteridium</i>	+	+	+	
<i>Callipteridium rochei</i>		+	+	+
<i>Callipteridium costei</i>	+			
<i>Dicksonites sterzelii</i>	+			
<i>Dicksonites leptophylla</i>	+	+		

Tabl. 1a - Répartition stratigraphique des macroflores (impressions-compressions) du bassin d'Autun.

Table 1a.- Range chart of the Autun Basin macroflora (impressions-compressions).

données de la flore et de la microflore de l'Autunien d'Autun et de séries qui lui sont rapportées en Europe. Nous n'aborderons donc pas les éléments de comparaison basés sur les faunes. De même, nous n'aborderons nullement les problèmes de limites et/ou de corrélations qui se posent entre les formations continentales du domaine varisque européen et celles du Permien marin.

### La végétation autunienne du bassin d'Autun

Elle a fait l'objet de nombreux travaux depuis les premiers, inclus dans la monographie de C. Grand'Eury en 1877. Les travaux les plus importants portent sur les

empreintes (Roche, 1880 ; Zeiller, 1890) et sur les végétaux silicifiés (Renault, 1893-1896). L'ensemble de ces observations a été revu et révisé dans la monographie de J. Doubinger en 1956, consacrée à l'étude des flores autuno-stéphaniennes des bassins français. Les travaux les plus récents ont été consacrés à la révision des végétaux silicifiés (Galtier, 1980 ; Marguerier et Pacaud, 1980), à l'occasion du XXVI<sup>e</sup> Congrès géologique international. D'autre part, pour leur révision taxinomique exhaustive du genre « *Callipteris* », Kerp et Haubold (1988) ont intégré toutes les empreintes classiques décrites à partir du matériel collecté dans le bassin d'Autun. Une mise à jour figurée de la collection de Calliptérides d'Autun, basée sur cette révi-

sion, a été publiée par G. Pacaud (1992) dans la cadre de la Conférence quadriennale de l'Organisation Internationale de Paléobotanique (Chateauneuf *et al.*, 1992b).

Les études palynologiques sur la microflore du bassin d'Autun ont été initiées par J. Doubinger (1962) et ont donné lieu par la suite à des notes plus synthétiques (Doubinger, 1968, 1974 ; Doubinger et Elsass, 1979). Les travaux d'inventaire et de prospection ultérieurs réalisés dans le bassin (cartographie à 1/50 000 ; sondages stratigraphiques pour le 16<sup>e</sup> Congrès géologique international (1980) ; inventaire des réserves de schistes bitumineux (1975 à 1985) ont permis l'étude palynologique d'un important matériel de terrain et de forage dont on trouvera l'essentiel des résultats dans la synthèse géologique des bassins permien français (Chateauneuf et Farjanel, 1989 et les livrets-guides des 8e IPC (International Palynological Congress : Chateauneuf *et al.*, 1992a) et 4e IOPC (International Organization of Palaeobotany Conference : Chateauneuf *et al.*, 1992b).

L'inventaire de la végétation permienne du bassin d'Autun s'établit de la façon suivante en nombre de genres et d'espèces :

- Macroflores en empreintes : 50 genres, 99 espèces
- Plantes silicifiées : 40 genres, 83 espèces
- Spores : 35 genres, 82 espèces
- Grains de pollen: 31 genres, 52 espèces.

### Distribution stratigraphique de la flore au cours des dépôts du Stéphanien d'Epinaç et de l'Autunien d'Autun

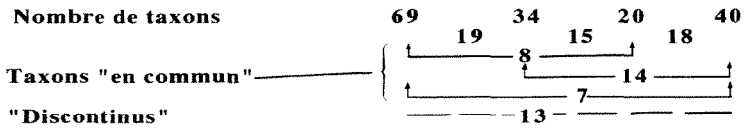
Les traces de flore ont été signalées dans le bassin d'Autun à tous les niveaux stratigraphiques et dans la plupart des formations qui se succèdent, depuis le Houiller d'Epinaç jusqu'aux schistes de Millery (tabl. 1a, 1b). Seule la formation rouge des Arkoses de Curgy surmontant la Série grise n'en a jamais livré. Elle contient cependant des grains de pollen et des spores. Comme le soulignait J. Doubinger en 1956, l'évolution stratigraphique de la flore établie à partir des

empreintes montre un remplacement très progressif de la flore houillère par celle de l'Autunien au cours du dépôt des Grès du Mont-Pelé puis de la formation d'Igornay. C'est ainsi que sur les 66 espèces décrites dans les grès du Mont-Pelé, 27 ont été retrouvées dans les formations successives de l'Autunien dont : 22 dans la formation d'Igornay, 8 dans celle de Muse et 13 dans l'Autunien supérieur (cette récurrence paradoxalement plus importante, s'expliquant par la plus grande richesse en végétaux fossiles des Couches de Millery (Autunien supérieur), par rapport à celles de Muse. L'apparition de nouvelles espèces, essentiellement attribuées à des Spermatophytes, Cordaitophytes et Coniférophytes, est très progressive puisque 12 espèces nouvelles ont été reconnues dans la formation d'Igornay, 4 dans la formation de Muse et 1 dans les formations de Surmoulin et Millery (Autunien supérieur).

Les espèces les plus courantes, présentes dans la flore palustre d'Epinaç, qui ont subsisté dans les petits marécages bordiers du bassin lacustre d'Autun au cours de l'Autunien, appartiennent essentiellement aux genres *Pecopteris*, *Callipteridium*, *Neuropteris*. A l'inverse, quelques uns des précurseurs de la flore dominante au Permien, dont l'essor commence à l'Autunien, y compris *Autunia* (al. *Callipteris*) *conferta*, sont présents dans la flore de la formation du Mont-Pelé attribuée, en grande partie, au Stéphanien.

Cette concomitance au passage stéphaniano-autunien de formes abondantes ou caractéristiques soit du Stéphanien supérieur, soit de l'Autunien inférieur a été signalée de longue date dans les bassins d'Autun et de Blanzay (Doubingier, 1956). Elle a donné lieu à la définition d'étages ou de séries dites « ambiguës » et à de nombreuses discussions contradictoires sur l'attribution au Stéphanien ou à l'Autunien de formations situées aux alentours de cette limite (Jongmans, 1952, Doubingier, 1962, Bouroz et Doubingier, 1974, 1977 ; Doubingier et Langiaux, 1982). L'explication, à la fois paléogéographique, sédimentologique et paléocologique de ce phénomène a été largement explicitée depuis cette époque (Doubingier et Langiaux, 1982 ; Courel et al., 1983 ; Marteau, 1983, Farjanel et al.,

	Mont-pelé	Igornay	Muse	Millery
<i>Pseudomariopteris busquetii</i>	+			
<i>Pseudomariopteris ribeyronii</i>	+	+		
<i>Neuropteris cordata</i>	+			
<i>Neuropteris planchardii</i>	+	+	+	+
<i>Neuropteris raymondii</i>	+			
<i>Linopteris brongniartii</i>	+			
<i>Reticulopteris germarii</i>	+	+	+	+
<i>Cyclopteris</i> sp.	+			
<i>Neuropteris osmundae</i> (= <i>Odontopteris dufresnoyi</i> )		+	+	+
<i>Odontopteris dupontii</i>				+
<i>Odontopteris lingulata</i>		+		
<i>Odontopteris minor</i>	+			
<i>Odontopteris "minor-zeillerii"</i>	+			
<i>Odontopteris obtusa</i>		+	+	+
<i>Odontopteris subcrenulata</i>		+	+	+
<i>Lescuriopteris genuina</i>	?			
<i>Dolerophyllum pseudopeltatum</i>	+			
<i>Dolerotherca fertilis</i>	+			
<i>Pachytesta gigantea</i>	+	+		
<i>Rhabocarpus subtunicatus</i>	+			
<i>Carpolithes</i> sp.	+			
<i>Potonia</i> sp.	+	+	+	+
<i>Autunia</i> ( <i>Callipteris</i> ) <i>conferta</i>	+	+	+	+
<i>Autunia</i> ( <i>Callipteris</i> ) <i>naumanii</i>			+	+
<i>Lodevia</i> ( <i>Callipteris</i> ) <i>bibractensis</i>				+
<i>Rhachiphyllum</i> ( <i>Callipteris</i> ) <i>lyratifolia</i>				+
<i>R. schenkii</i> (= <i>Callipteris jutieri</i> + <i>C. pellati</i> )			+	+
<i>Taeniopteris jejunata</i>		+		
<i>Taeniopteris "abnormis-multinervis"</i>			+	+
<i>Spenozamites</i> sp.		+		
<i>Lesleya delafondei</i>		+		+
<i>Cordaïtes angulostratus</i>	+			
<i>Cordaïtes</i> spp.	+			
<i>Dorycordaïtes zeillerii</i>	+			
<i>Poacordaïtes</i> sp.	+			
<i>Cordaïctadus</i> sp.				+
<i>Artisia</i> sp.	+			
<i>Cordaïanthus</i> sp.	+			
<i>Cordaispermum</i> sp.				+
<i>Samaropsis</i> sp.	+			
<i>Dicranophyllum gallicum</i>	+			
<i>Ernestiodendron filiciforme</i>				+
<i>Walchia piniformis</i>		+	+	+
<i>Walchia goepfertiana</i>		+	+	+
<i>Culmitzschia frondosa</i>		+	+	+
<i>Otovicia hypnoides</i>				+
<i>Gomphostrobus bifidus</i>				+
<i>Trichopitys heterophylla</i>				+
<i>Baiera raymondii</i>				+



Tabl. 1b.- Répartition stratigraphique des macroflores (impressions-compressions) du bassin d'Autun.

Table 1b.- Range chart of the Autun Basin macroflora (impressions-compressions).

1985 ; Broutin et al., 1986, 1990 ; Becq-Giraudon, 1993).

Nous ne reviendrons pas ici sur les arguments géologiques et en particulier cartographiques et biostratigraphiques qui ont été discutés pour placer la limite Stéphanien-Autunien dans la partie supérieure des Grès du Mont-Pelé (Farjanel et al., 1985, Marteau et Feys, 1989). L'Autunien inférieur à Autun est caractérisé, à partir des empreintes, par l'apparition des formes principales suivantes : *Callipteridium rochei*, *Autunia naumanii*, *Rhachiphyllum lyratifolia*, *Taeniopteris jejunata*, *T. « abnormis-multinervis »*, *Walchia piniformis*, *W. goepfertiana*, *Culmitzschia frondosa*.

L'Autunien supérieur de son côté voit l'apparition de : *Lodevia bibractensis*, *Rhachiphyllum schenkii* (anciennement *Callipteris jutieri* et *C. pellati*), *Otovicia* (al. *Walchia*) *hypnoides*, *Ernestiodendron filiciforme* et *Baiera raymondii*.

### Flore silicifiée du bassin d'Autun (fig. 3 ; tabl. 2).

La flore silicifiée du bassin d'Autun découverte et décrite par B. Renault (1893-1896) dans plusieurs localités du bassin d'Autun a été rapportée par cet auteur à quatre zones de végétaux silicifiés dont la plus ancienne (zone 1) correspond au Carbonifère inférieur de la

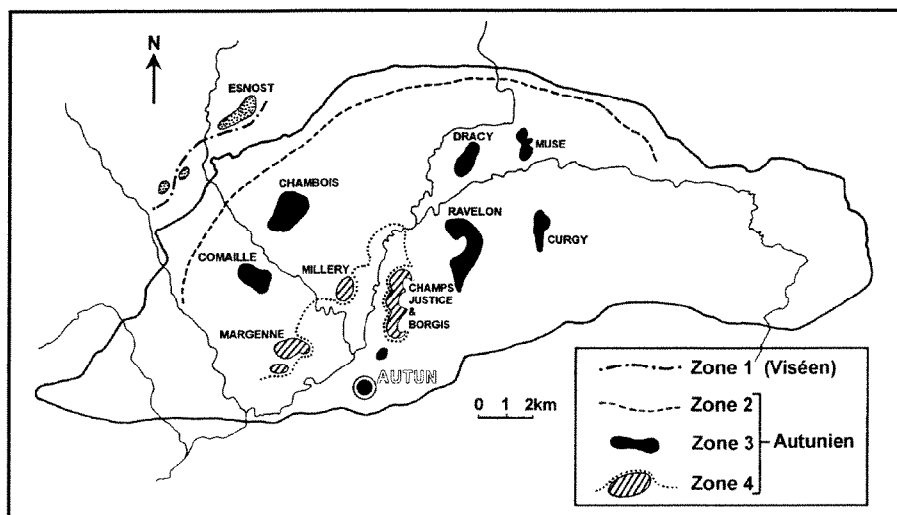


Fig. 3.- Carte simplifiée du bassin d'Autun montrant l'extension des quatre zones à plantes silicifiées de Renault, sur laquelle sont reportées les principales localités fossilifères (D'après Renault, 1896 et Delafond, 1889).

Fig. 3.- Simplified map of the Autun Basin showing the extension of the four Renault's zones with silicified plants and the indication of some of the most famous localities (adapted from Renault, 1896 and Delafond, 1889).

bordure nord du bassin et n'est donc pas prise en compte dans ce travail. Par contre, les zones 2, 3 et 4 de Renault renferment des gisements à végétaux silicifiés de trois niveaux superposés du Permien : zone 2 = assise d'Igornay ; zone 3 = assise de Muse ; zone 4 = assises de Surmoulin et Millery (fig. 3). Les nombreux troncs silicifiés découverts lors des travaux SNCF pour le passage du TGV Paris-Lyon (Marguerier et Pacaud, 1980) sont rapportés à la zone 2 de Renault (fig. 3 ; tabl. 2).

Symétriquement à ce que l'on observe pour les empreintes, les flores de végétaux silicifiés des zones 2 et 3 sont beaucoup moins diversifiées que celles de la zone 4. Elles comprennent essentiellement des formes attribuées aux genres *Psaronius*, *Cordaixylon*, *Dadoxylon* et *Scleromedulloxylon*, c'est-à-dire à un mélange de Filicales, Ptéridospermales, Cordaitales et Coniférales.

Les flores très riches de la zone 4 proviennent malheureusement pour la plupart (à l'exception de celle de Margenne) de pierres volantes (Borgis, Espargeolles, la Justice). Leur richesse en Ptéridophytes reliques du Carbonifère (fougères et Sphénoxytes représentant 75 % des taxons) a été interprétée de deux façons différentes (Galtier, 1980). Ces formes stéphaniennes pourraient correspondre à des végétaux redéposés à partir de gisements de la zone d'Épinac ou de l'Autunien inférieur des bordures est du bassin. Les directions générales d'ouverture et de progradation du bassin permien (d'est en ouest) peuvent appuyer cette hypothèse, tandis que l'absence, à ce jour, de formes silicifiées connues dans le Stéphaniens et de formes comparables dans les gisements de l'Autunien inférieur ou basal militent contre celle-ci. La deuxième hypothèse envisage la présence dans le bassin, au cours de l'Autunien supérieur, de marécages de type houiller, ayant permis la survivance de ces flores stéphaniennes. Les nombreuses empreintes et spores de fougères retrouvées par ailleurs dans les formations de Surmoulin ou de Millery, viennent à l'appui de cette dernière hypothèse. En tout état de cause, cette persistance (ou coexistence) paraît bien être la marque même de l'Autunien aussi bien à Autun que dans les bassins équivalents d'Allemagne (Erzgebirgisches Becken et Döhle-ner Becken, Barthel 1976) et vient d'être

<i>Sigillaria brardii</i>	3, D	4, CJ, CB	<i>Psaronius demolei</i>	?2, 3	
? <i>Sigillaria tessellata</i>		4, CJ	<i>Psaronius espargaeollensis</i>		4, CE
<i>Stigmaria brardii</i>	3, D		<i>Psaronius favrei</i>		4, CJ
<i>Sphenophyllum</i> sp.		4, CJ	<i>Psaronius inractus</i>		4, CJ
<i>Asterophyllites</i> sp.	3		<i>Psaronius landriotti</i>	?2, 3	
<i>Calamostachys borgiensis</i>		4, CB	<i>Psaronius levyi</i>	?2, 3	
<i>Calamostachys tuberculata</i>		4, CB	<i>Psaronius rhomboidalis</i>	?2, 3	
<i>Paleostachya gracilis</i>		4, CB	<i>Stipitopteris reflexa</i>		
<i>Paleostachya equisetiformis</i>		4, CB	<i>Stipitopteris peltageriformis</i>		
<i>Macrostachya infundibuliformis</i>		4, CE	<i>Acitheca polymorpha</i>		4, CE, CJ
<i>Arthropitys bistriata</i>		4, CB, CJ	<i>Grandeuryella autunensis</i>		4, CE, CJ
<i>Arthropitys communis</i>		4, CB	<i>Scolecoperis oliveri</i>		4, CE, CJ
<i>Arthropitys gigas</i>	3	4, CB, CE	<i>S. (Ptychocarpus) unita</i>		4, CE
<i>Arthropitys lineata</i>		4, CB	<i>Pecopteris exigua</i>		
<i>Arthropitys medullata</i>		4, CB	<i>Pecopteris cf. pennaeformis</i>	3, D, MU	
<i>Arthropitys porosa</i>		4, CB	<i>Rachiopteris dicksonioides</i>		
<i>Arthropitys renaulatii</i>			<i>Heterangium bibractensis</i>		4, CB
<i>Arthropitys rochei</i>		4, CB	<i>Heterangium duchartrei</i>		4, CB
<i>Calamodendron congenium</i>			<i>Heterangium punctatum</i>		4, CB
<i>Calamodendron intermedium</i>		4, CB	<i>Heterangium renaulatii</i>		
<i>Calamodendron striatum</i>		4, CB	<i>Callistophyton boysssetii</i>		4, CB
<i>Astromyelon augustodunense</i>		MA	<i>Colpoxyton eduense</i>		4, CJ, CE
<i>Astromyelon nodosum</i>			<i>Medullosa stellata</i>		4, CE
<i>Astromyelon reticulatum</i>			<i>Medullosa gigas</i>		4, CE, CJ
<i>Ankyropteris brongniartii</i>			<i>Myeloxylon landriotti</i>		4, CJ
<i>Ankyropteris bibraiensis</i>		4, CB	<i>Myeloxylon radiatum</i>		
<i>Etapteris lacatei</i>		4, CB	<i>Codonospermum anomalum</i>		4, CB
<i>Biscallitheca dubius</i>		4, CB	<i>Codonospermum olivaeforme</i>		4, CB
<i>Anachoropteris decaisnei</i>			<i>Gnetopsis augustodunensis</i>		4, CB
<i>Anachoropteris gigas</i>			<i>Cycadoxylon fremyi</i>		4, CB
<i>Anachoropteris ovata</i>			<i>Haploxyton rochei</i>		4, L
<i>Anachoropteris circularis</i>			<i>Ptychoxylon levyi</i>		4, CB
<i>Grammatopteris rigollotii</i>		4, CB	<i>Retinodendron rigollotii</i>	?SM	
<i>Tubicaulis bertieri</i>			<i>Taeniopteris multinervis</i>	3, D	4, MA
<i>Psaronius asterolithus</i>			<i>Cordaixylon permienne</i>		4, CE
<i>Psaronius augustodunensis</i>	?2, 3		<i>Cordaixylon</i> sp.	2, 3	
<i>Psaronius bibractensis</i>		4, CJ	<i>Metacordaites rigollotii</i>		
<i>Psaronius brongniartii</i>	?2, 3		<i>Cycadinocarpus augustodunensis</i>		
<i>Psaronius bureaui</i>	?2, 3		<i>Dadoxylon rollei</i>	3, MU	4, CJ
<i>Psaronius coalescens</i>	?2, 3		<i>Scleromedulloxylon varollense</i>	3, V	

Tabl. 2.- Liste des plantes silicifiées du bassin d'Autun par zones de gisement. 2, 3, 4 : zones de Renault ; localités fossilifères : CB = Champ de Borgis ; CE = Champ d'Espargeolles ; CJ = Champ de la Justice ; D = Dracy ; MA = Margenne ; MU = Muse ; SM = Saint-Martin ; V = Varolles.

Table 2.- List of the silicified plants from the Autun Basin classified by collection zones. 2, 3, 4 : Renault's zones. Fossiliferous localities: CB = Champ de Borgis; CE = Champ d'Espargeolles; CJ = Champ de la Justice; D = Dracy; MA = Margenne; MU = Muse; SM = Saint Martin; V = Varolles.

STEPHANINIEN					AUTUNNIEN SUPERIEUR		AGE
AUTUNNIEN INFÉRIEUR					AUTUNNIEN SUPERIEUR		AGE
EPINAC/	MONT-PELÉ	MOLOY-PELLETTERS	IGORNAY	LALLY	MUSE	SUR- / MILLERY MOULIN	FORMATIONS
1			2	3	4	5	ZONES PALYNOLOGIQUES
							Laevigatosporites perminutus, medius
							Laevigatosporites vulgaris, densus
							Laevigatosporites maximus
							Torispora securis
							Speciososporites laevigatus, plicatus
							Punctatosporites granifer
							Punctatosporites rotundus
							Punctatosporites punctatus
							Punctatosporites cingulatus
							Thymospora thiesseii, pseudothiessenseii
							Spinosporites spinosus, exiguus
							Spinosporites hirsutus
							Columinisporites heyleri
							Columinisporites ovalis
							Leiotriletes adnatoideus, adnatus
							Leiotriletes gulaferus
							Leiotriletes convexus
							Leiotriletes sphaerotriangulus
							Latiipulvinites kosankei
							Gulisporites cochlearius
							Calamospora hartungiana
							Calamospora pedata, oralis
							Calamospora pusilla, perrugosa
							Calamospora diversiformis, straminea
							Calamospora mutabilis, microrugosa
							Punctatisporites minutus, obliquus
							Punctatisporites punctatus
							Granulatisporites microgranifer
							Granulatisporites minutus
							Granulatisporites gulaferus
							Granulatisporites parvus
							Granulatisporites ibrahimi
							Cyclogranisporites aureus
							Cyclogranisporites pergranulus, microgranus
							Cadiospora magma
							Verrucosporites elegans, triseccatus
							Verrucosporites verrucosus
							Verrucosporites pergranulus
							Lophotriletes ibrahimi
							Lophotriletes mosaicus
							Apiculatisporis div. espèces
							Acanthotriletes echinatus, microspinosus
							Acanthotriletes sp.
							Raistrickia aculeata, irregularis
							Raistrickia saetosa
							Convolutispora recurva, peppersi
							Cyclogranisporites microgranus
							Microreticulatisporites nobilis
							Stellisporites inflatus
							Triquitrites pulvinatus
							Triquitrites ornatus, verrucosus, additus
							Knoxisporites glomus
							Savitrissporites camptotus
							Crassispora kosankei
							Lycospora pusilla, punctata
							Lundbladisporea simoni, gigantea
							Densosporites sphaerotriangularis
							Anguisporites contortus
							Polymorphisporites (div. espèces)
							Cirratiradites saturni, ornatus
							Endosporites globiformis

Tabl. 3a.- Répartition stratigraphique des microspores du bassin d'Autun.

Table 3a.- Range chart of the Autun Basin microspores.

spectaculairement démontrée dans le bassin de Perdasdefogu, en Sardaigne (voir plus loin).

### La microflore de l'Autunien d'Autun (tabl. 3a, 3b)

La synthèse de l'ensemble des données palynologiques (Chateaufort *et al.*, 1992 a, b) confirme, à l'évidence, la

persistance de la plupart des formes stéphanienues dans l'Autunien inférieur. Qui plus est, dix-huit espèces, sur les quarante neuf inventoriées dans le Stéphanien, sont encore présentes dans l'Autunien supérieur. La disparition, au cours de l'Autunien, du plus grand nombre des Ptéridophytes va être compensée par l'apparition de nombreuses Ptéridospermales, Cordaitales et Coniférales (9 espèces sont

présentes dans le Stéphanien d'Epinaac et du Mont-Pelé, 20 dans l'Autunien basal, 38 dans l'Autunien inférieur et 46 dans l'Autunien supérieur). Cette tendance évolutive, qui semble plus nette à partir des résultats palynologiques qu'à partir de ceux des récoltes d'empreintes ou de restes silicifiés est due au mode de dispersion et de fossilisation-conservation des spores et grains de pollen. On note, au

STEPHANINIEN					AUTUNNIEN SUPERIEUR		AGE
AUTUNNIEN INFÉRIEUR					AUTUNNIEN SUPERIEUR		
EPINAC/ MONT- PELE	MOLOY- PELLETIER	IGORNAY	LALLY	MUSE	SUR- / MILLERY MOULIN	FORMATIONS	
1		2	3	4	5	ZONES PALYNOLOGIQUES	
						Florinites ovalis	
						Florinites pumicosus	
						Florinites mediapudens, diversiformis	
						Güthoerlisporites magnificus	
						Candidispora candida	
						Wilsonites vesicatus	
						Latensina triletus	
						Latensina subrotata	
						Nuskoisporites dulhuntyi	
						Nuskoisporites sp.	
						Potonieisporites novicus	
						Potonieisporites bhardwaji	
						Potonieisporites simplex	
						Potonieisporites unilabiatus	
						Mosulipollenites sp.	
						Marsupipollenites sinuosus	
						Cordaitina bractea	
						Cordaitina sp.	
						Vesicaspora wilsonii	
						Vesicaspora ovata	
						Pityosporites communis	
						Pityosporites schaubergeri	
						Alisporites sp.	
						Vitresporites sp.	
						Platysaccus sp.	
						Kosankeisporites elegans	
						Limitisporites parvus	
						Limitisporites sp.	
						Gardenasporites leonardi	
						Illinites tectus	
						Illinites unicus	
						Protohaphoxypinus samoilovichi	
						Protohaphoxypinus jacobii, sewardi,	
						Hamiapollenites sp.	
				*		Striatopodocarpidites cf richteri	
				*		Alatisporites verrucosus	
						Jugasporites cf omai	
						Lunatisporites sp.	
						Complexisporites polymorphus, unicus	
						Striatoabietites sp.	
						Cheileidonites div. espèces	
						Cycadopites sp.	
						Vittatina costabilis	
						Vittatina zaurei	
						Vittatina nova	
						Vittatina ovalis	
						Vittatina vittifera	
						Aumancisporites thuringicus	

Tabl. 3b.- Répartition stratigraphique des grains de pollen du bassin d'Autun.

Table 3b.- Range chart of the Autun Basin pollen grains.

cours de l'Autunien inférieur, une plus grande abondance et une diversification des espèces appartenant aux genres : *Nuskoisporites*, *Potonieisporites*, *Vesicaspora*, *Limitisporites*, *Illinites*, *Protohaphoxypinus*, *Striatoabietites* et *Vittatina*. A la base de l'Autunien supérieur, apparaissent d'autres formes (en particulier celles du groupe des *striatiti*) qui connaîtront un grand développement au cours de l'Autunien supérieur puis du Trias : *Mosulipollenites*, *Marsupipollenites*, *Platysaccus*, *Hamiapollenites*, *Striatopodocarpidites*, *Jugasporites* et *Lunatisporites*. Cette analyse qualitative a été complétée par l'étude des pourcen-

tages relatifs des principaux groupes de spores et grains de pollen (fig. 4) retrouvés dans les dépôts du Stéphanien d'Epinaac et de l'Autunien (Doubinger et Elsass, 1975, Marteau et Feys in Chateauneuf et Farjanel, 1989). Elle montre une limite très nette : entre, d'une part, le Stéphanien associé à l'extrême base de l'Autunien inférieur riches en spores et l'Autunien inférieur à monosaccates abondants, bisaccates lisses et rares *Vittatina* d'autre part (fig. 4).

Le sommet de l'Autunien inférieur et l'Autunien supérieur sont marqués par une augmentation relative nette des formes appartenant au genre *Vittatina* et

aux disaccates striés (Coniférales). Malheureusement, le sommet de la série autunienne d'Autun (Assise de Millery, niveaux à boghead) s'est montré très pauvre en palynomorphes et les comptages ne sont réellement significatifs que jusqu'à l'assise de Surmoulin (Châteauneuf *et al.*, 1992a).

### Formations rapportées à « l'Autunien » en Europe, sur la base de leur contenu floristique

De nombreuses formations du Permien continental de France (Blanzy, Brive,



l'Aumance, Lodève etc...) et d'Europe ont été rapportées à l'Autunien d'Autun sur la base de corrélations établies à partir de leur contenu en macro- ou microflore, et ceci dès la création du terme en 1881. Les raisons en sont multiples. Outre le fait que les paléontologistes ayant décrit la flore d'Autun aient fait partie des précurseurs et aient ainsi le bénéfice de l'antériorité, ce sont souvent les mêmes paléobotanistes qui ont sillonné l'Europe de l'Ouest à la recherche de rapprochements anatomiques ou taxinomiques entre les flores des divers bassins. Par ailleurs, les travaux d'exploitation sur le bassin d'Autun ayant perduré sur la fin du 19<sup>e</sup> siècle et la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, les collections initiales n'ont cessé de s'enrichir. Parfaitement conservées aux Muséum d'Autun et de Paris, elles ont été de tout temps à la disposition des spécialistes souhaitant les consulter ou les étudier. Il est hors de question d'aborder ici, en détail, une énumération exhaustive de tous ces travaux. Nous avons simplement pris quelques exemples significatifs, de bassins et de formations en Europe de l'Ouest et en Europe centrale, rapportés à l'Autunien sur la base de leur contenu floristique (fig. 5)

### La Péninsule ibérique

Depuis les deux dernières décennies, le terme d'Autunien est utilisé en Espagne selon les critères « établis pour le bassin d'Autun par J. Doubinger en 1974 » (Virgili *et al.*, 1979). Les mêmes phénomènes de substitution graduelle de flores au passage Stéphanien-Autunien rendent délicate la caractérisation de la limite Carbonifère/Permien.

### Cordillère cantabrique.

Le premier indice paléontologique de l'existence de l'Autunien dans les Asturies remonte à Patac (1920) qui figura « *Callipteris* » *conferta*, *Walchia* spp., *Dicksonites* et *Pecopteris* sp. (localité « Puente Bergueres », région de Pola de Siero). Ces spécimens étant censés provenir d'un puits abandonné depuis longtemps, aucune vérification de l'exactitude de cette donnée n'a pu être menée à bien. C'est dans les couches de « Villaviciosa », partie supérieure de la série de « faciès Rotliegend » discordante sur le Carbonifère, attribuées au Permien, qu'une florule d'affinité autunienne a été décrite à Cueli. Ont été reconnus : *Autu-*

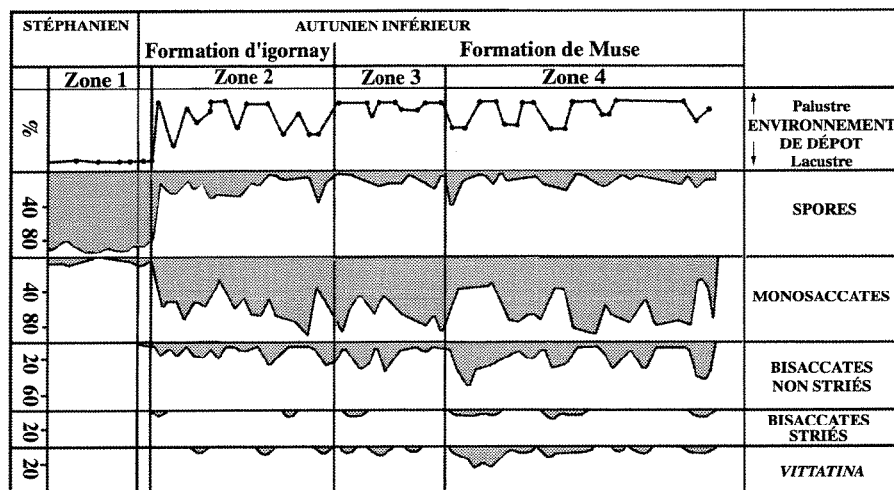


Fig. 4.- Bassin d'Autun. Échelle palynostratigraphique schématique du sommet du Stéphanien et de l'Autunien inférieur (d'après Farjanel, in: Marteau, 1983).

Fig. 4.- Autun Basin. Quantitative range chart of microflora selected groups (after Farjanel, in Marteau, 1983).

*nia conferta*, *Culmitschia* (al. *Lebachia*) *frondosa*, *Taeniopteris fallax* et *Neuropteris* sp. (Wagner et Martinez-Garcia, 1982).

### Cordillère ibérique et Système Central

L'existence de l'Autunien dans ce domaine avait été niée jusqu'à la découverte, dans les années 1970, de quelques localités richement fossilifères. Les plus représentatifs de cet Autunien centre ibérique en sont les deux gisements « jumeaux » de Valdesotos et Retiendas (Province de Guadalajara, bordure sud du Système Central). Leur paléoflore, très bien conservée, est parfaitement similaire à celle des assises de Muse et Millery. Aux Calliptérides abondantes et bien diversifiées (*Autunia conferta*, *Lodevia nicklesi*, *Rhachiphyllum schenkii*) sont associés notamment *Walchia* spp., *Baiera* sp. et le cortège habituel de Sphénophytes et Filicophytes « reliques » du Stéphanien (Sopeña, 1979). Les microflores associées sont typiquement « Autuniennes », sensu J. Doubinger, 1974.

### Bordure sud de la meseta ibérique

Les niveaux supérieurs du bassin de Guadalcanal- Rio Viar, sur la bordure sud de la zone structurale d'Ossa-Morena, ont été attribués à l'Autunien terminal, voire à un âge post- « Autunien d'Autun », sur la base de la présence dans la macroflore d'un cortège très diversifié de Ginkgo-

phytes alors que les Calliptérides deviennent rares et d'une microflore dominée par les bisaccates striés (Broutin, 1986). On y observe surtout l'apparition d'éléments floristiques « exotiques », d'affinités gondwaniennes, inconnus à cette période dans le reste de l'Europe occidentale. Cette région de la péninsule ibérique paraît bien être située au-delà de la limite méridionale du domaine paléophytogéographique de l'Europe occidentale, à flore exclusivement euraméricaine, au sein duquel des corrélations basées sur les flores continentales peuvent être proposées valablement.

Remarque : le bassin portugais de Buçaco, antérieurement attribué à l'Autunien sur la seule présence d'*Autunia conferta*, est maintenant considéré comme Stéphanien supérieur (Wagner et Martinez Garcia, 1982).

### La Sardaigne

L'étude récente d'une coupe dans le Permien du sud-ouest de la Sardaigne (zone de Sulcis) a permis de mettre en évidence plusieurs niveaux de flore et de microflore, dont au moins deux d'entre eux ont été rapportés à l'Autunien sur la base de leur contenu palynologique tout à fait similaire à celui des formations d'Igornay et de la couche de Lally (Barca *et al.*, 1991). Depuis lors, des niveaux fossilifères très riches en plantes fossiles, découverts par l'un de nous (A.R.) dans le bassin de Perdasdefogu (sud-est de la

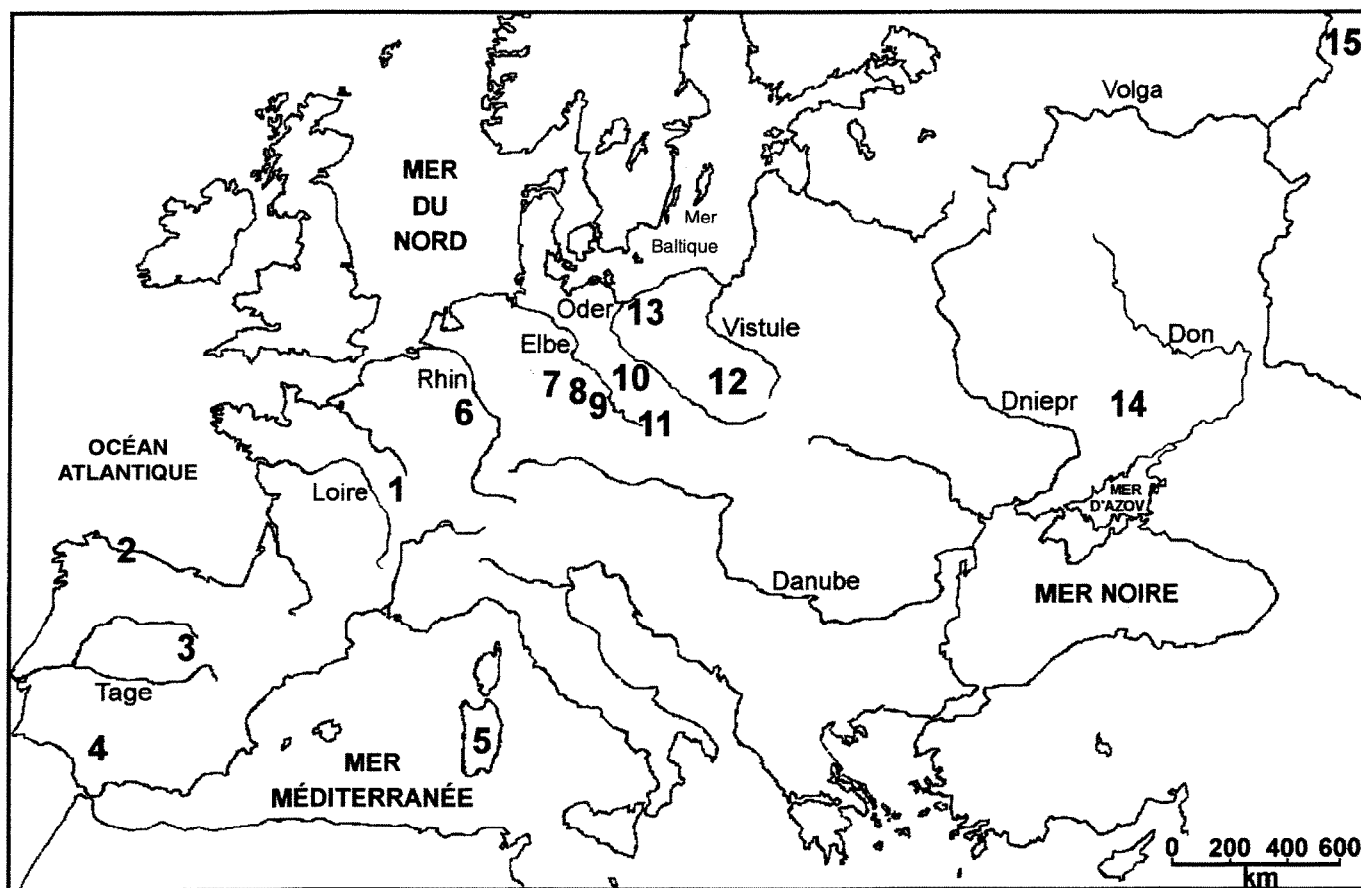


Fig. 5.- Principaux bassins ou formations d'Europe occidentale rapportés à l'Autunien sur la base de leur contenu floristique.

1 : Autun ; 2 : Asturies ; 3 : Région de Guadalajara ; 4 : Bassin de Guadalcanal ; 5 : Sardaigne ; 6 : Sarre-Nahe ; 7 : Thuringe ; 8 : Saxe ; 9 : Bassin central de Bohême ; 10 : Bassin intra-Sudète ; 11 : Moravie ; 12 : Haute Silésie ; 13 : Poméranie ; 14 : Donetz ; 15 : Oural.

Fig. 5.- Relevant basins or formations dated Autunian on the basis of their floristic content.

Sardaigne), ont été intensément échantillonnés (Ronchi, 1997). La macroflore conservée en empreintes, à Calliptérides variées (*Autunia conferta*, *Rhachiphyl- lum lyratifolia*, *R. schenkii*, *Dichophyl- lum flabellifera*, *Gracilopteris strigosa*) et conifères abondantes (*Ernestiodendron filiciforme*, *Walchia piniformis*, *Culmitz- schia laxifolia*, *C. speciosa*, *Hermítia arnhardtii*) est quasiment superposable à l'association de l'Assise de Millery (« Autunien supérieur » du bassin d'Autun). Dans le cadre régional sarde, cette découverte a permis une corrélation avec les niveaux fossilifères de la base de série « permo-triasique » de Lu Caparoni-Cala Viola (Nurra, extrémité nord-ouest de l'île : Ronchi *et al.*, 1998). Ces données biostratigraphiques nouvelles, basées sur les macroflores, sont corroborées par l'analyse des associations de palyno- morphes et d'ostracodes (Ronchi *et al.*, 1998). Des horizons silicifiés, en place dans la série de Perdasefogu, ont livré

de très nombreux restes de plantes per- minéralisées. Il est important de souligner que, comme à Autun, l'assemblage de Sardaigne apparaît dominé par des fougères arborescentes et des représen- tants du genre *Calamites*, d'affinités sté- phaniennes. L'analyse de ces cherts, intercalés et parfaitement localisés dans la colonne stratigraphique de Perdase- fogu, confirme que les pierres volantes à végétaux silicifiés du bassin d'Autun sont réellement d'âge Autunien et ne résultent pas d'un remaniement des niveaux sté- phaniens sous-jacents. Le bassin de Per- dasdefogu renferme donc une série pouvant être prise comme référence pour l'Autunien, dans le domaine continental de la Paléotéthys occidentale.

#### La Suisse septentrionale

Deux forages de reconnaissance, l'un dans le canton de Bâle, l'autre dans celui de Zurich ont recoupé des formations du

Carbonifère supérieur et du Permien. Ces séries ont été étudiées sur le plan de la microflore (Hochuli, 1985). L'Autunien a été reconnu et caractérisé dans deux forages par la répartition à la fois qualitative et quantitative des spores et pollens, qui présente des caractères tout à fait similaires à celle du bassin d'Autun.

#### Permien d'Allemagne

##### Sarre-Nahe

La plupart des formations rapportées dans cette région aux couches rouges inférieures du Permien (Unter-Rotliegend des auteurs germaniques) ont livré des restes de flores et des palynomorphes, bien que ces récoltes soient beaucoup moins abondantes et continues que dans la Thuringe. La synthèse de l'ensemble de ces données a été publiée par Falke (1972, 1975) ; Andreas et Haubold (1975) ; Holub et Kozur (1981), Kozur

(1988) ; Boy et Hartkopf (1983) ; Kerp (1982) ; Kerp et Fichter (1985). Les premiers niveaux fossilifères appartiennent au groupe de Kusel. Ils contiennent, outre des Pécoptéridées, un grand nombre de spécimens d'*Autunia conferta* et *Walchia piniformis*. La microflore peut être rapportée à celles de l'Autunien inférieur d'Autun (Helby 1966). Le Groupe de Lebach qui fait suite, a également livré dans sa partie supérieure une flore assez riche (Odernheim, Rummelbach) à rare *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Odontopteris* et nombreuses espèces d'*Autunia*, *Lodevia*, *Rhachiphyllum* et *Walchia*. La microflore compte déjà de nombreux disaccates striés. Le groupe de Tholey a fourni très peu de flore. La formation qui lui succède dite de Donnersberg (Kerp et Fichter, 1985) comporte plusieurs espèces qui ont été décrites dans les assises de Muse et de Millery. Enfin, vers le sommet des couches rouges, dans le nord-ouest du bassin, le gisement de Sobernheim (formation de Wadern) contient une cinquantaine d'espèces de Sphénophytes, Ptéridophytes, Cordaitales et Coniférales attribuées à l'Autunien supérieur (H. Kerp, 1982), ce qui confirme les données de la palynologie (Visscher *et al.*, 1974).

### La Thuringe

Les Couches rouges de Thuringe constituent la série de référence la plus complète d'Allemagne pour ce qui est du Permien inférieur continental. Sa richesse en flore a suscité de nombreux travaux, dont la liste serait trop longue à énumérer ici, depuis ceux de E.F. Schlotheim en 1804. On trouvera une excellente synthèse des principaux travaux dans la publication de D. Andreas et H. Haubold (1975). Les Couches inférieures de Gehren ont été attribuées sur la base du contenu en flore (Gothan, 1928 ; Remy et Remy, 1960) au Stéphanien supérieur, tandis que les assises supérieures ont livré une flore autunienne à majorité de formes appartenant aux genres *Autunia* et *Walchia*. Les Couches de Manebach présentent des veines de charbon et des faciès palustres comparables à ceux du Stéphanien avec récurrence de cortèges à Pécoptéridées, Calamites et Equisétales. Les genres *Autunia* et *Walchia* sont cependant présents. Les Couches de Goldlauter ont été scindées en deux groupes dont la limite représente, pour les

auteurs allemands, la séparation entre un Autunien inférieur et un Autunien supérieur. Le membre inférieur, où les Ptéridophytes palustres sont encore importants, renferme une flore à *Autunia-Walchia* comprenant une vingtaine d'espèces, dont la composition est très proche de celle de la flore des couches de Muse et de Millery. Dans les Couches supérieures, on note l'apparition de formes nouvelles de Calliptéridés ou de *Walchia*, dont certaines n'existent pas dans le bassin d'Autun à l'exception notable d'*Otoviccia hypnoides*. Les Couches sommitales de l'Unter-Rotliegend, réputées autuniennes, sont les Couches de Oberhof et de Rotterode. Les premières ont livré une flore tout à fait comparable à celle des Couches supérieures de Goldlauter. On note cependant une nette diminution des formes palustres (*Annularia*, *Pecopteris*, *Alethopteris* et *Neuropteris*). Cette tendance s'accroît dans les couches de Rotterode, dont la flore à Ptéridospermales et Coniférales reste par ailleurs très proche de celle des couches supérieures de Goldlauter. Une évolution comparable de la flore est décrite dans la dépression de Halle (Remy et Kampe, 1961) avec un Autunien « 1 et 2 » proches des formations précédentes, situés de part et d'autre de la limite médiane des couches de Goldlauter.

### Saxe : Döhlener et Erzgebirgisches Becken

Les formations de ces bassins, situés immédiatement à l'Est des bassins de Thuringe, entre Leipzig et Dresden, sont, en Allemagne, les plus étroitement similaires, par leur contenu floristique (empreintes et structures silicifiées associées au volcanisme), à celles de l'Autunien d'Autun. Correspondant au Rotliegend inférieur, elles ont été corrélées à l'Autunien sur la base de 44 genres et d'une centaine d'espèces identifiées (Barthel, 1976). Ce cortège est tout à fait identique, aux rares formes « endémiques » près, à celui renfermé par les assises de Surmoulin-Millery. Calliptéridés et Conifères y sont, notamment, représentés par les mêmes taxons. Citons, en particulier, *Autunia conferta*, *A. naumanii*, *Rhachiphyllum* spp. ; *Walchia piniformis*, *Ernestiodendron filiciforme*, *Culmitschia* spp. Parmi les végétaux silicifiés, on peut citer la présence d'espèces semblables sinon identiques à celles d'Autun pour les genres

*Psaronius*, *Ankyropteris*, *Tubicaulis*, *Medullosa* et *Dadoxylon*.

### La Bohême et la Moravie

Le bassin permien intra-sudète affleure dans le nord-est de la République Tchèque et dans le sud-ouest de la Pologne. Les premiers niveaux de schistes bitumineux dans la formation de Chvalec contiennent une flore à *Autunia*, *Odontopteris* et *Walchia*, rapportée à l'Autunien inférieur d'Autun (Holub 1972 et 1977). La formation de Broumov contient des schistes à *Autunia conferta*, *A. naumanii* et *Walchia piniformis* qui ont été attribués à l'Autunien supérieur (Oplustil et Pesek, 1998). Les séries équivalentes du côté polonais ont été étudiées sur le plan de la microflore (Jerzykiwicz, 1987). Les zones 2, 3, 4 de l'Autunien inférieur d'Autun y ont été reconnues : une zone à *Potonieisporites novicus*, une zone à *Vittatina costabilis* et une zone à Disaccates striés. Dans les mêmes formations ont été décrits : *Autunia conferta*, *R. flabellifera*, *Lodevia nicklesi*, *Taeniopteris jejunata*, *T. multinervis* et *Odontopteris subcrenulata* (Lipiarski 1972).

Les bassins de piedmont de la zone sudète. L'horizon de Rudnik a livré une flore équivalente de la précédente dite flore à *Autunia* et *Walchia*. Dans l'horizon de Háje (« Krkonose Piedmont Basin »), Rieger (1968) mentionne la présence de *Rhachiphyllum lyratifolia*, *Lodevia nicklesi*, *Arnhardtia scheibei* et propose un âge Autunien supérieur par référence à l'Autunien d'Autun. Tout dernièrement, une révision récente de la collection Rieger et de nouvelles collectes ont montré que seul *Arnhardtia scheibei* est identifiable et que macro- et microflores correspondent, en fait, au sommet de l'Autunien inférieur (Simunek et Drabkova, 1997).

Le bassin central de Bohême. Reconnu par forage sous le Crétacé, il contient des couches rouges dont l'âge Stéphanien ou Autunien a été longtemps débattu. La flore fossile de l'horizon de Klobuky contient une flore et une microflore palustres qui se situent probablement dans des couches de transition du Carbonifère au Permien (Zajič, 1989).

**Les bassins intramontagneux de Moravie.** Ils sont allongés selon la direction NNE-SSW. Le sillon de Blanice comprend quatre formations dont les trois supérieures, rapportées à l'Autunien, contiennent une flore riche où se mêlent des associations palustres et des éléments plus xérophyles comme *Autunia*, *Taeniopteris*, *Odontopteris*, *Ernestiodendron*, *Cordaites*, *Walchia*. Une association très similaire (*Walchia piniformis*, *Autunia conferta*, *A. naumanii*, *Lodevia nicklesii*, *Dichophyllum flabellifera*, *Odontopteris osmundaeformis*) se retrouve dans le sillon de Boskovice, à l'est du précédent, au-dessus de la première couche de charbon dans des argilites grises à niveaux bitumineux (Oplustil et Pesek, 1998).

### Le Permien de Silésie

Dans la partie nord-est du bassin de Haute Silésie, l'Autunien, qui repose sur un Carbonifère supérieur plissé, occupe une étroite bande alignée WNW-ESE entre Karniowice et Filipowice, à quelques 35 km à l'ouest de Cracovie. Dans cette région, la séquence type des couches attribuées à l'Autunien (formation Trzebinia) est la suivante : travertins de Karniowice, conglomérats de Myslachowice et tufs de Filipowice, recouverts par le Trias (Lipiarski, 1980). Les travertins de Karniowice, très entamés par l'érosion, sont représentés de façon très discontinue entre Filipowice et Karniowice. Ils renferment, au sein d'un cortège à *Annularia*, *Pecopteris*, *Alethopteris* et *Odontopteris*, déjà connu au Stéphanien, les éléments autuniens suivants : *Autunia conferta*, *Autunia naumanii*, (abondants) *Sphenopteris germanica*, *Odontopteris lingulata*, *Taeniopteris* « *multinervis-abnormis* » et *Walchia piniformis* (Lipiarski, 1971). Ces niveaux sont donc considérés comme correspondant à l'Autunien inférieur, « par comparaison avec la distribution verticale des flores dans le bassin d'Autun » (Lipiarski, 1980).

### Le Permien de Poméranie (nord-ouest de la Pologne)

Reconnu en sondage, il peut atteindre 5000 m d'épaisseur. Le Groupe d'Odra à sa base a été rapporté à l'Autunien, mais en l'absence de tout critère biostratigraphique. En effet, seule la formation Swiniec, à l'extrême base de ce groupe a livré

de la microflore qui ne permet pas de trancher entre le Stéphanien et l'Autunien (Dybova-Jachowicz et Pokovski, 1984).

### Bassin du Donetz et Oural

Dans l'Oural, les microflores sont dominées, dès l'Orenburgien, par les monosaccates et disaccates (70 %) avec des formes typiques du Permien, telles : *Cordaitina*, « *Protohaploxyton* », *Illinites* (Naoumova et Rauser-Chernousova 1963). Cette tendance s'accroît dans l'Assélien où Coniférales et Ptéridospermales deviennent majoritaires. Dans le Sakmarien inférieur, des microflores dominées par les disaccates striés se mettent en place. Les séries du bassin du Donetz, corrélées avec les précédentes sur la base des foraminifères (série des grès cuprifères et série calcaréo-dolomitique) présentent tout à fait la même distribution verticale des flores. Le problème des corrélations entre formations continentales européennes et séries marines (Donetz et bassin de Moscou) est extrêmement complexe. Il reste, en particulier, délicat d'estimer la durée d'existence de la flore autunienne en regard des étages définis en milieu marin, i.e. Ghzelien terminal, Assélien et Sakmarien.

Une révision récente du Carbonifère supérieur et du Permien inférieur du bassin du Donetz, dans le cadre du programme international « Peri-Tethys » (Izard *et al.*, 1998), a permis de proposer une corrélation de l'Autunien avec le Ghzelien terminal, l'Assélien et le Sakmarien inférieur.

### Conclusions

On a longtemps considéré que la limite inférieure de l'Autunien et du « Rotliegend inférieur » pouvait être fixée par l'apparition des genres *Walchia* et *Callipteris* et plus tard du seul genre *Callipteris*. Cependant, dès 1956, J. Doubinger signalait la présence du genre *Callipteris* dans les assises ou formations dites ambiguës et situées au passage du Stéphanien et de l'Autunien. Des représentants de ce genre étaient découverts ensuite dans le Stéphanien des bassins de Saint-Etienne et de Blanzey-Montceau. Dans le bassin d'Autun, à Épinac, *Autunia* (al. *Callipteris*) *conferta* a été découvert, tout dernièrement, dans les grès stéphanien du Mont Pelé, lors d'une

révision des collections du Muséum d'Autun (Chateaufort *et al.*, 1992 a, b). Quant au genre *Walchia*, il avait été abandonné comme marqueur de l'Autunien dès le 2<sup>ème</sup> congrès international du Carbonifère d'Heerlen (1935).

La « première apparition » d'*Autunia* (al. *Callipteris*) *conferta* ne caractérise donc plus nécessairement la base de l'Autunien. Par contre la présence « en masse » d'un cortège diversifié de « Calliptérides » (*Autunia*, *Rhachiphyllum*, *Lodevia*, *Arnahrdtia* et *Gracilopteris*) reste tout à fait caractéristique de l'Autunien. De même, des « incursions » d'associations palynologiques dominées par *Potonieisporites*, longtemps considérées comme caractérisant la base de l'Autunien, ont été observées dans des horizons lacustres de nombreux bassins stéphanien (Broutin *et al.*, 1986, 1990 ; Primey et Farjanel, 1987). Ce phénomène de remplacement progressif des flores au cours des périodes géologiques n'est d'ailleurs en aucun cas unique en son genre. Les limites entre étages, sauf en cas de phénomènes catastrophiques pour la végétation (changement paléogéographique radical, bouleversement orogénique et/ou climatique...) ou de distorsion majeure (discordance ou lacune des terrains...), coïncident rarement avec un renouvellement brutal des flores. La base de l'Autunien n'est donc marquée par l'apparition d'aucune « espèce-guide » tant pour les macroflores que pour les microflores. Géologiquement, la limite inférieure de ce « stratotype » n'est pas mieux définie ; puisque les grès du mont Pelé, diachrones, se sont déposés durant le Stéphanien terminal et l'Autunien inférieur. A Autun, le sommet de la série grise supérieure (Assise de Millery) et son passage latéral au faciès rouge arkosique de Curgy (Farjanel *et al.*, 1985) sont surmontés directement par le Trias moyen. Le Permien supérieur manque donc complètement dans le bassin d'Autun et il est difficile de dire s'il s'agit d'une lacune de sédimentation ou d'une érosion avant le dépôt du Trias moyen. Force est donc de constater que l'Autunien d'Autun, défini comme étage du Permien inférieur en domaine continental (Bergeron, 1889) est loin de posséder les caractéristiques exigées pour un stratotype de référence international, même pour un étage régional continental. Cependant, à ce jour, il n'existe aucun stratotype de remplacement en milieu continental qui puisse lui être

substitué pour la même période. En effet, les séries inférieures du Rotliegend en Sarre-Nahe ou en Thuringe, corrélées avec l'Autunien ne sont pas définies comme un étage mais comme un ensemble de formations. La plupart d'entre elles ne sont d'ailleurs pas superposées dans une même zone géographique et leurs limites avec le Carbonifère ou le « Saxonien » sont, le plus souvent, mal établies.

Reste que l'Autunien d'Autun renferme un contenu floristique à valeur

biostratigraphique maintenant bien connu, constamment utilisé comme référence pour des corrélations à l'intérieur du domaine varisque d'Europe occidentale et centrale. Autre atout pour l'Autunien d'Autun : la conservation parfaite et l'excellente mise en valeur de toutes les collections de paléoflores (empreintes et structures perminéralisées), sans parler des paléofaunes, au sein des Musées d'Histoire Naturelle d'Autun et de Paris, qui offrent à la communauté scientifique

internationale une accessibilité permanente à tous ces spécimens.

En l'absence, pour le moment, de tout « parastratotype » de substitution à l'Autunien d'Autun, nous proposons que son contenu biostratigraphique continue d'être regardé comme caractérisant le Permien inférieur en domaine continental, pour une période comprise entre le Ghzélien terminal et le Sakmarien inférieur c'est-à-dire d'environ -296 à -286 millions d'années (Menning, 1995).

## Références

- Andreas D., Haubold H. (1975) - Die biostratigraphische Untergliederung des Autun (Unteres Perm) im mittleren Thüringer. *Wald. Schriftenreihe für Geol. Wissenschaften*, Heft 3, 5-87.
- Barca S., Del Rio M., Pittau P. (1991) - Geologia del Basamento italiano - Convegno in memoria di Tommaso Cocozza, Siena, 98-100.
- Barthel M. (1976) - Die Rotliegendflora Sachsens. *Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol.*, Bd. 24, 1-90.
- Becq-Giraudon J.F. (1993) - Problèmes de la biostratigraphie dans le Paléozoïque supérieur continental (Stéphanien-Autunien) du Massif Central. *Geodinamica Acta*, 6, 4, 219-224.
- Becq-Giraudon J. F., Mercier D., Jacquemin H. (1995) - Faut-il rassembler le Stéphanien supérieur et l'Autunien (Paléozoïque continental) en une seule entité lithostratigraphique ? *Géologie de la France*, n° 2, 17-24.
- Bergeron G. (1889) - Etude géologique du Massif ancien situé au sud du Plateau Central. Thèse Paris, Masson, 1-361.
- Bouroz A., Doubinger J. (1974) - Les relations entre le Stéphanien supérieur et l'Autunien d'après leurs stratotypes. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **279**, 1745-1748.
- Bouroz A., Doubinger J. (1977) - Report on the Stephanian-Autunian boundary and on the content of Upper Stephanian and Autunian in their stratotypes. *Ustav. Geol. Praha*, 145-169.
- Boy J.A., Hartkopf C. (1983) - Paläontologie des Saarpfälzischen Rotliegenden. Exkursionsführer zur 53. Jahrestagung der Pal. Gesell. Mainz, 84 p.
- Broutin J. (1986) - Étude paléobotanique et palynologique du passage Carbonifère-Permien dans le Sud-Ouest de la péninsule ibérique. *Cahiers de Paléontologie*, éd. du CNRS, Paris, 165 p.
- Broutin J., Doubinger J., Langiaux J., Primey D. (1986) - Conséquences de la coexistence de flores à caractères stéphanien et autuniens dans les bassins limniques d'Europe occidentale. *Mém. Soc. Géol. Fr. N.S.* 149, 15-25.
- Broutin J., Doubinger J., Farjanel G., Freydet P., Kerp H., Langiaux J., Lebreton M.L., Sebban S., Satta S. (1990) - Le renouvellement des flores au passage Carbonifère-Permien : approche stratigraphique, biologique, sédimentologique. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **311**, n° 2, 1563-1569.
- Châteauneuf J.J., Farjanel G. (1989) - Synthèse géologique des bassins permien français, *Mém. BRGM*, 128, 288 p.
- Châteauneuf J.J., Farjanel G., Pacaud G., Broutin J. (1992a) - The Autun Permian basin, the Autunian stratotype. *Cah. Micropal.* n.s. 1992, 7, 1/2, 107-139.
- Châteauneuf J.J., Pacaud G., Galtier J., Broutin J. (1992b) - The Autunian stratotype in the Permian basin of Autun. 4th IOP excursion, OFP information, 16.C, 20-44.
- Courel L., Doubinger J., Gall J.C., Langiaux J., Paquette Y., Vetter P. (1985) - Relations entre paléoenvironnements et associations végétales dans les bassins limniques carbonifères du Massif Central français. *C. R. 10ème Congr. Intern. Strat. Géol. carbonifère*, 3, 7-15, Madrid, 1983.
- Delafond F. (1889) - Bassin houiller et permien d'Autun et d'Épinac : stratigraphie. *Et. gites minéraux France*, 104 p.
- Djupina G.V. (1979) - Palynologische charakterisierung des Moskovian des Westlichen Ural. *Akad. Nauk SSSR, Trudy Inst. Geol. Geoch.* 141, 67-76. (en russe).
- Doubinger J. (1956) - Contribution à l'étude des flores autuno-stéphanien, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 35, n° 1-2, n° 75, 1-180.
- Doubinger J. (1962) - Caractères palynologiques du Stéphanien et de l'Autunien. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **255**, 2158-2160.
- Doubinger J. (1968) - Contribution à l'étude palynologique du Permo-Carbonifère de l'Autunois, *Eduen*, 45, 10 p.
- Doubinger J. (1974) - Etudes palynologiques dans l'Autunien. *Rev. Palaeobot., Palyn.*, **17**, 21-38.
- Doubinger J. (1980) - Autunien in Cavelier, les étages français et leurs stratotypes. *Mém. BRGM, Fr.*, n° 109, 39-42.
- Doubinger J., Elsass Ph. (1975) - Nouvelles données minéralogiques et palynologiques sur les sédiments permien du bassin d'Autun. *Eduen*, **76**, 13-28.
- Doubinger J., Elsass Ph. (1979) - Le bassin permo-carbonifère d'Autun : nouvelles données stratigraphiques et palynologiques. *Eduen*, **91**, 9-25.
- Doubinger J., Langiaux J. (1982) - Un faux problème : la limite Stéphanien-Autunien. *C.R. Acad. Sci., Fr.*, **294**, n° 2, 395-398.

- Dybova-Jachowicz S., Pokovski J. (1984) - Stratygrafia Karbonu i-dolnego permu wotworze wiertniczym Strzezewo 1. *Kwart. Geol.*, 28, 3-4, 589-616.
- Falke H. (1972) - The continental Permian in north and south Germany. Rotliegend. Essays on European Lower Permian. *Int. Sed. Petrogr. series*, 15, Leiden, 43-113.
- Falke H. (1975) - Problems of the continental Permian in the Federal Republic of Germany. NATO adv. St. Inst. series, C, 38-52.
- Farjanel G., Feys R., Marteau P. (1985) - Le Stéphaniens et l'Autunien du bassin d'Autun (France). Nouvelles données stratigraphiques. C.R. 10e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Madrid 1983, 4, 487-492.
- Feys R. (1988) - In: Fourniguet J., Couvel L., Gand G., Menot J.C., Feys R., Arene J., Guillaumet J.P. - Carte géologique à 1/50 000 Le Creusot. Editions du BRGM.
- Feys R. (1991) - In: Arene J., Delfour J., Clozier L., Feys R., Delance J.H. - Carte géologique à 1/50 000 Autun. Editions du BRGM.
- Galtier J. (1980) - Les végétaux silicifiés du Permien d'Autun : analyse quantitative et interprétation possible. Soc. d'Hist. Nat. et des Amis du Museum d'Autun, 95, suppl. n° 2, 35-39.
- Gothan W. (1928) - Über die Äquivalente der Wettiner schichten im Thüringer Wald. *Z. deutsch. geol. Ges. Monatsb.*, Berlin, 79, 121-123.
- Grand'Eury C. (1877) - Flore carbonifère du département de la Loire. Imprimerie nationale, Paris, 1-624.
- Helby R. (1966) - Sporologische untersuchungen an der Karbon/Perm grenze im Pfälzer Bergland. *Fort. Geol. Rheinl. Westf.* 13, 1, 645-704.
- Heyler D. (1969) - Vertébrés de l'Autunien de France. *Cahiers de Paléontologie*, CNRS, Paris, 1-255.
- Hochuli P.A. (1985) - Palynostratigraphische Gliederung und Korrelation des Permo-Karbon der Nordostschweiz. *Eclogae Geol. Helv.*, 78, 3, 719-831.
- Holub V. (1972) - Permian of the Bohemian Massif. In: Rotliegend essays on European Lower Permian. *Int. Sed. Petr. series*, 15, Leiden, 137-188.
- Holub V. (1977) - The Permo-Carboniferous continental basins of Bohemia and Moravia. In: Symposium on Carboniferous Stratigraphy, 205-231, Holub V.M. & Wagner R.H. eds, pub.Geol. Surv. Prague.
- Holub V., Kozur H. (1981) - Die Korrelation des Rotliegenden Europas. *Geol. Pal. Mitt. Innsbruck*, 11, 5, 195-242.
- Izard A., Briand C., Vaslet D., Vachard D., Broutin J., Coquel R., Maslo A., Maslo N., Kozitskaya R. (1998) - Stratigraphy and sequence stratigraphy of the Upper Carboniferous and Lower Permian in the Donets Basin. In: S. Crasquin-Soleau E. Barrier (eds), Peri-Tethys Memoir 3: stratigraphy and evolution of Peri-Tethyan platforms. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 177, 9-33.
- Jerzykiewicz J. (1987) - Latest Carboniferous (Stephanian) and early Permian (Autunian) palynological assemblages from the intrasudetic basin, southwestern Poland. *Palynology*, 11, 117-131.
- Jongmans W.J. (1928) - Congrès pour l'étude de la Stratigraphie du Carbonifère dans les différents centres houillers de l'Europe. C.R. 1er Congr. Avancement Ét. Strat. Carbonifère, Heerlen 1927, 3-48.
- Jongmans W.J. (1952) - Some problems on Carboniferous stratigraphy. C.R. 3ème Congr. Intern. Strat. Géol. Carbonifère, Heerlen 1951, 295-306.
- Kerp H. (1982) - New Palaeobotanical data on the «Rotliegendes» of the Nahe area (FRG). *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, 56, 7-14.
- Kerp H., Fichter J. (1985) - Die Macrofloren des saarpfälzischen Rotliegenden (? Ober-Karbon - Unter Perm). *Mainz Geowiss. Mitt.*, 14, 159-286.
- Kerp H., Haubold H. (1988) - Aspects of Permian Palaeobotany and Palynology VIII. On the reclassification of the West- and Central european species of the form-genus *Callipteris* Brongniart 1849. *Rev. Palaeobot. Palyn.*, 54, 135-150.
- Kozur H. (1988) - Age of the central European Rothliegendes. *Z. Geol. Wiss.*, 16, 9, 907-915.
- Lipiarski I. (1971) - La flore du Permien inférieur apparaissant dans le travertin de Karniowice aux environs de Cracovie. *Pr. Inst. Geol.*, 57, 5-112.
- Lipiarski I. (1972) - Wyniki wstepnych badan nad utworami otenu (dolny perm) w rejonie Slupca w Sudeckim Zaglebiu weglowym. *Sprawozdania z Posiedzen Kom. PAN*, XVI (2), 484-485.
- Lipiarski I. (1980) - The Carboniferous Permian boundary in the Upper Silesian and Sudetic coal basins in the light of palaeobotanical investigations. In: Biotratigraphy of the Carboniferous-Permian boundary beds, *Proceed. I.U.G.S. Subcom. on Carbon.Perm. Strat.*, 86-101, Izdayel'swo Nauka - Moscou.
- Marguerier J., Pacaud G. (1980) - La 3ème zone de bois silicifiés de l'Autunien (France). Soc. Hist. Nat. et des Amis du Museum d'Autun, 95, suppl. n° 2, 41-60.
- Marteau P. (1983) - Le bassin Permo-Carbonifère d'Autun : stratigraphie, sédimentologie et aspects structuraux. Thèse 3ème cycle, Université de Dijon. *Document BRGM*, n° 64, 1-200.
- Marteau P., Feys R. (1989) - Le bassin d'Autun. In: Chateaufeuf J.J. et Farjanel G. ; synthèse géologique des bassins permien français. *Mém.BRGM Fr.*, n° 128, 65-71.
- Mayer-Eymar C. (1881) - Classification internationale des terrains sédimentaires. S.L., *Archi. Soc. Géol. Fr.*, 1-15.
- Menning M. (1995) - A numerical time scale for the Permian and Triassic periods: an integrated time analysis. In: Scholle P.A., Peryt T.M. & Ulmer-Scholle D.S.; The Permian of northern Pangea, Springer-Verlag, 77-97.
- Munier-Chalmas E., Lapparent A. (de) (1893) - Note sur la nomenclature des terrains sédimentaires. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3, 21, 454.
- Naoumova S., Rauscher-Chernousova D. (1963) - Sur la position stratigraphique de l'Autunien et de ses analogues. C.R. 5ème Congr. Int. Strat. Géol. Carbonifère, Paris 1963, 3, 1215-1228.
- Oplustil S., Pesek J. (1998) - Stratigraphy, palaeoclimatology and palaeogeography of the Late Palaeozoic continental deposits in the Czech Republic. *Geodiversitas*, 20, 4, 597-620.
- Pacaud G. (1992) - Atlas photographique des genres : Autunia, Rhachiphyllum et Lodevia du bassin d'Autun. Suppl. livret-guide 4e IOP Conference, 1-73.

- Patac I. (1920).- La Formacion Uraliense Asturiana. Estudios de Cuencas Carboníferas. Artes Graficas, Gijon, 1-50.
- Primey D., Farjanel G. (1987) - Mise en évidence de manifestations de flores à caractères autuniens dans les dépôts stéphanien de la région de Lucenay-lès-Aix (bassin de Decize, France). *Ann. Soc. Geol. Nord, Lille*, 106, 95-102.
- Pruvost P. (1947) - Art des Mines et de la Géologie. Bilan d'une collaboration. Cent. A-I, Liège, Géologie, 401-418.
- Remy W., Remy R. (1960) - Beiträge zur Flora des Autunien I. *Mber. deutsch. Akad. Wiss., Berlin*, 2, 9, 567-582.
- Remy W., Kampe A. (1961) - Ausbildung und Abgrenzung des Autunien in der Halleschen Mulde. *Mber. deutsch. Akad. Wiss., Berlin*, 3, 7-8, 394-408.
- Renault B. (1893-1896) - Bassin houiller et permien d'Autun et d'Epinaç, IV, Flore fossile, Et. Gites minéraux, France, 1-578.
- Rieger Z. (1968) - Stratigraphical studies of the Stephanian and Autunian of the Krkonose-piedmont Basin. *Vést. Ustr. Ust. geol.*, 43, 449-457 (en Tchèque).
- Roche E. (1880) - Sur les fossiles du terrain permien d'Autun. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3, 9, 1-78.
- Ronchi A. (1997) - «I prodotti sedimentari e vulcanici dei bacini permiani di Escalaplano e Perdasdefogu nella Sardegna sudorientale: stratigrafia e loro inquadramento nell'evoluzione tardo-paleozoica del settore sudeuropeo». Tesi di Dottorato, Università di Parma, 250 p.
- Ronchi A., Broutin J., Diez J.B., Freytet P., Galtier J., Lethiers F. (1998) - New paleontological discoveries in some Early Permian sequences of Sardinia. Biostratigraphic and paleogeographic implications. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, IIa, 327, 713-719
- Simunek Z., Drábková J. (1997) - Palaeobotany and palynology of the Háje Horizon ("Autunian") in the Krkonose Piedmont Basin, Czech Republic. *Proceed. 4th Eur. Paleobot. Palyn. Conf.*, 53-64.
- Schlothheim E. F. (1804) - Beschreibungen merkwürdiger Kräuterab-drücke und Pflanzenversteinerungen - Gotha.
- Sopeña A. (1979) - Estratigrafía del pérmico y triásico del noroeste de la provincia de Guadalajara. *Seminarios de estratigrafía, serie monografías*, 5, 329 p., Madrid.
- Virgili C., Doubinger J., Ramos A., Sopeña A., Broutin J. (1977) - The Autunian of Central Spain. *C.R. 9<sup>ème</sup> Congr. Intern. Strat. Géol. Carbonifère. Champaign-Washington, USA*, 593-598.
- Visscher H., Huddleston Slater-Offerhaus M.G., Wong T.E. (1974) - Palynological assemblages from «Saxonian» deposits of the Saar-Nahe Basin (Germany) and the Dôme de Barrot (France). An approach to chronostratigraphy. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 17, 1-2, 39-56.
- Wagner R.H., Martinez Garcia E. (1982) - Description of an Early Permian flora from Asturias and comments on similar occurrences in the Iberian Peninsula. *Trabajos de Geologia*, 12, 273-287.
- Zaji'c J. (1989) - Recent results of the study of Permo-Carboniferous vertebrates from borcholes in Bohemian limnis basins. *Acta Musei Reg. Hradec. S.A./Scient. Nat.*, 22, 49-51.
- Zeller R. (1890) - Bassin houiller et permien d'Autun et d'Epinaç, II, Flore fossile. Et. Gites min. Fr., 1-304.

**LES « MARBRES GRIOTTES »**  
**DES PYRÉNÉES CENTRALES FRANÇAISES**  
**Pétrographie, géochimie et caractéristiques physico-mécaniques.**  
**Étude archéométrique de pièces archéologiques**  
**des époques gallo-romaine et médiévale**

par  
**F. Antonelli**

Document du BRGM n° 285

Les «Marbres Griottes», connus en Italie sous le nom de «Cipollino Mandolato», est une des deux pierres ornementales françaises qui furent exportées à Rome durant la période impériale (dès l'époque Sévérienne). Pendant la Renaissance et jusqu'à la fin du XIXe siècle le succès et la diffusion de ce matériau acquirent une dimension européenne.

Malgré son large emploi, les «Marbres Griottes» n'ont pas fait l'objet de recherches pétrographiques et géochimiques détaillées ce qui a été abordé ici, pour la première fois, d'une façon systématique et avec des finalités archéométriques. Les principales carrières anciennes et modernes ont été étudiées et 167 échantillons ont fait l'objet d'une caractérisation complète (OM, XRD, XRF, MEB+SDE, IRMS, Moessbauer).

Du point de vue archéométrique, la combinaison des informations minéralogiques et pétrographiques obtenues et la définition par analyse discriminante et par analyse isotopique des «groupes d'appartenance» des échantillons de carrière ont permis d'attribuer une provenance à la plupart des pièces archéologiques françaises et italiennes analysées.

Les résultats de cette recherche fournissent des nouvelles connaissances sur la diffusion des «Marbres Griottes» pendant les époques gallo-romaine et médiévale et ils représentent une banque de données complète qui sera très utile pour les études archéométriques qui suivront.

*The "Marbres Griottes", known in Italy as Cipollino Mandolato, is one of the two French 'ornamental stones' that were exported to Rome during the period of the Roman Empire (from the times of Severus). During the Renaissance and up to the end of the XIX Century, the success and distribution of this stone acquired a European dimension.*

*However, despite its extensive use, the "Marbres Griottes" has never before been the subject of a detailed petrographic and geochemical analysis. Our approach was systematic and archeometric. We studied the main quarries, both ancient and modern, and subjected 167 samples to a complete characterization (OM, XRD, XRF, SEM+SDE, IRMS, Moessbauer).*

*From the archeometric standpoint, we have been able to ascribe a provenance for most of the analysed French and Italian archaeological artefacts by combining the obtained mineralogical and petrographic data with the defined «member groups» of the quarry samples.*

*The results of this research impart new information concerning the distribution of the "Marbres Griottes" during the Gallo-Roman and Mediaeval periods and provide a complete database that will be very useful for future archeometric studies.*

**Prix de vente : 550 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France et 60 F pour l'Étranger.**

**En vente chez votre libraire habituel ou aux Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.**

**Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.**