

Étude anatomique et comparative de charbons de bois de *Larix decidua* Mill. et de *Picea abies* (L.) Karst.

*Anatomical and comparative study of Larix decidua Mill.
and Picea abies (L.) Karst. wood charcoal*

BRIGITTE TALON

Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie, ERS 6100, case 461, FST Saint-Jérôme, 13397 Marseille cedex 20, France

RÉSUMÉ

Les critères anatomiques d'identification des genres *Larix* et *Picea*, établis sur le bois par Bartholin (1979) et Anagnost et al. (1994), ont été testés en vue de la distinction taxinomique de charbons de bois de taille millimétrique de deux espèces alpines européennes : *Larix decidua* Mill. et *Picea abies* (L.) Karst. L'observation au microscope optique à très fort grossissement ($\times 1\ 000$) des ponctuations aréolées des trachéides radiales, qui sont le seul critère vraiment discriminant, révèle l'existence d'un nouveau type de ponctuation dentée permettant d'affiner le travail d'identification. La distinction de ces deux espèces est donc possible sur le charbon de bois, mais devient aléatoire si le fragment a une taille inférieure au millimètre, ce qui arrive souvent dans le cas d'échantillons pédoanthracologiques prélevés dans les sols d'altitude.

Mots clés : *Larix*, *Picea*, charbons de bois, anatomie, microscopie optique, pédoanthracologie

ABSTRACT

The anatomical criteria for the identification of the genera Larix and Picea defined on wood samples by Bartholin (1979) and Anagnost et al. (1994) have been tested on charcoal in order to permit a taxonomic discrimination between two European alpine species, Larix decidua Mill. and Picea abies (L.) Karst. Examination under an episcopic microscope with a high magnification ($\times 1\ 000$) of the bordered pits of the ray tracheid walls, the only really discriminating criterion, shows a new type of indented pit. This makes it possible to identify the two species more accurately. Thus, these two species can now be distinguished on charcoal instead of only on wood. However, this distinction remains uncertain if the fragment size is under 1 mm, which is often the case in pedoanthracological samples from high altitude soils.

Key words: *Larix*, *Picea*, woodcharcoal, anatomy, light microscopy, pedoanthracology

Abridged version (see p. 587)

Introduction

L'étude pédoanthracologique (analyse des charbons de bois contenus dans les sols) menée dans le cadre de nos

recherches sur les variations de la limite supérieure des forêts au cours de l'Holocène dans les Alpes françaises [1–5] a rendu nécessaire l'approfondissement du problème de la distinction anatomique de *Larix decidua* Mill.

Note présentée par Édouard Boureau

Note remise le 23 mars 1997, acceptée après révision le 28 mai 1997

et *Picea abies* (L.) Karst., deux espèces très proches anatomiquement mais écologiquement très différentes. En effet, une telle incertitude taxinomique gêne considérablement l'interprétation paléoécologique des données pédo-anthracologiques dans des zones où les deux espèces sont présentes.

Bartholin [6] est le premier à s'être penché de façon méthodique sur cette question et les critères anatomiques qu'il propose comme discriminants ont été confirmés par la suite [7]. Ces travaux, fondés sur l'étude comparative du bois de plusieurs espèces de *Larix* et de *Picea*, nous ont engagée à tenter le même type d'approche sur le bois carbonisé de *Larix decidua* Mill. et *Picea abies* (L.) Karst. Il s'agissait pour nous de vérifier que les critères décrits sur le bois pouvaient s'appliquer à l'étude des charbons et qu'ils permettaient l'identification des fragments de taille millimétrique que l'on trouve dans les sols d'altitude, les plus petits ne dépassant pas 600 µm de côté. Ce sont pour la plupart des fragments d'un seul cerne, dont seul est conservé le bois final, ou du bois de compression. Faute de pouvoir les distinguer, les fragments appartenant à l'un ou l'autre genre sont notés « *Larix* ou *Picea* » dans la liste des taxons identifiés [4].

Rappels d'anatomie du bois des genres *Larix* et *Picea*

Les bois des genres *Larix* et *Picea* présentent la particularité d'être anatomiquement si proches qu'ils sont traditionnellement considérés comme impossibles à distinguer l'un de l'autre avec certitude [8, 9]. Néanmoins, dans les descriptions xylogiques, la plupart des auteurs parviennent à dégager des tendances générales [8, 10–18] :

- transition entre le bois initial et le bois final généralement plus abrupte chez *Larix* que chez *Picea* [8, 10, 11, 14, 15, 18] ;
- canaux résinifères radiaux, visibles dans les rayons dans le plan tangentiel, en position le plus souvent excentrée chez *Larix* mais centrée chez *Picea* [8, 11–14, 17, 18] ;
- ponctuations aréolées des parois radiales des trachéides axiales du bois initial fréquemment bisériées chez *Larix*, sur de larges portions [10, 11, 14, 15, 18] et très souvent accompagnées de crassules. Rarement présentes et uniquement sur les trachéides les plus larges chez *Picea* [11, 14, 17] ;
- enfin, trachéides radiales chez *Larix* présentant des parois le plus souvent lisses [8, 12, 16, 18] ou plus rarement légèrement dentées [10, 11, 14, 17]. Parois le plus souvent faiblement dentées, voire spiralées chez *Picea* [10, 12, 16].

Ces caractères diagnostiques, trop imprécis pour une détermination satisfaisante, étaient pourtant les seuls utilisés jusqu'à ce que Bartholin trouve « *by a coincidence* » [6] une particularité rendant possible la distinction de ces deux genres : l'allure des ponctuations aréolées des trachéides radiales. Il a ainsi défini trois types de ponctuations (figure 1) : type *Larix*, type *Picea-1* et type *Picea-2*,

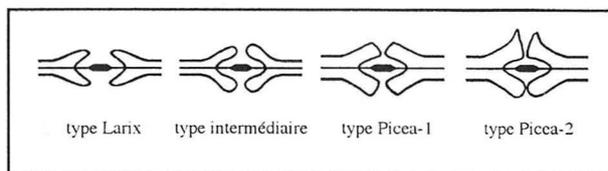


Figure 1. Types de ponctuations aréolées des trachéides radiales observées sur le bois de *Larix* et *Picea* (d'après Anagnost et al.).

dont les proportions relatives dans les trachéides permettent de séparer les deux genres. Son travail repose sur l'étude de onze espèces de *Picea* et huit espèces de *Larix*, examinant une centaine de ponctuations pour chacun des 39 individus. Anagnost et al. [7] ont confirmé la méthode et les conclusions de Bartholin, en travaillant sur un plus grand nombre d'individus et d'espèces, précisant toutefois que ce résultat doit être fondé sur l'observation d'un grand nombre de ponctuations (une cinquantaine) pour être statistiquement valable et surtout, complété par l'observation des caractères traditionnels évoqués plus haut.

L'originalité de notre travail tient dans le matériel d'étude proprement dit : le charbon de bois. La simplicité et la rapidité de préparation des plans d'observation ainsi que la qualité d'observation des structures anatomiques apportée par les méthodes épiscopiques modernes sont remarquables. Nous avons mis à profit ces qualités pour réaliser notre étude comparative non pas à partir de lames minces de bois mais directement à partir du bois carbonisé des deux espèces qui nous intéressent.

Matériel et méthodes

Dix individus de *Picea abies* et treize individus de *Larix decidua* ont été étudiés (tableau I). Il s'agit de bois récoltés, carbonisés et répertoriés par nos soins (anthracothèque de référence de l'Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie, ERS 6100 du CNRS, Marseille). Les échantillons sont simplement brisés de façon à faire apparaître les trois plans classiques d'observation anatomique du bois : le plan transversal, le plan longitudinal tangentiel et le plan longitudinal radial, ce dernier étant le plus important des trois dans cette étude. Le microscope utilisé est un microscope optique épiscopique à contraste interférentiel, équipé du prisme de Wollaston-Nomarski, qui est d'un grand secours pour certains caractères non observables en microscopie classique [19]. Les observations sont effectuées aux grossissements $\times 200$, $\times 500$ et $\times 1\,000$.

Nous avons donc recherché, sur chaque échantillon de bois carbonisé, les caractères considérés comme vraiment discriminants par Bartholin et Anagnost et al. [6, 7] dans la distinction des genres *Larix* et *Picea*, à savoir i) le type de transition du bois initial au bois final, ii) la sériation des ponctuations sur les trachéides axiales du bois

Tableau I. Présentation des dix individus de *P. abies* et treize individus de *L. decidua* étudiés.

	Taxon	Numéro dans la collection de référence	Altitude du site de récolte (m)	Partie de l'arbre récoltée	Origine
1	<i>Picea abies</i>	IMEP-111	1 100	bois de branche	Saint-Cingues (F-07)
2	<i>Picea abies</i>	IMEP-406	1 350	bois de branche	Vallée du Vénéon (F-38)
3	<i>Picea abies</i>	IMEP-603	1 992	bois de tronc	Beauvezet (F-04)
4	<i>Picea abies</i>	IMEP-604	1 992	bois de branche	Beauvezet (F-04)
5	<i>Picea abies</i>	IMEP-648	1 500	bois de branche	Saint-Étienne-en-Dévoluy (F-05)
6	<i>Picea abies</i>	IMEP-651	2 300	bois de branche	Chamonix (F-74)
7	<i>Picea abies</i>	IMEP-652	800	bois de branche	Rombach-le-Franc (F-67)
8	<i>Picea abies</i>	IMEP-660	–	bois de tronc	Vologda (Russie)
9	<i>Picea abies</i>	IMEP-668	1 530	bois de branche	Ceillac (F-05)
10	<i>Picea abies</i>	IMEP-713	2 180	bois de branche	Ceillac (F-05)
1	<i>Larix decidua</i>	IMEP-159	1 750	bois de branche	Mont Ventoux (F-84)
2	<i>Larix decidua</i>	IMEP-377	2 150	bois de tronc	La Cayrolle (F-04)
3	<i>Larix decidua</i>	IMEP-602	1 992	bois de tronc	Beauvezet (F-04)
4	<i>Larix decidua</i>	IMEP-607	1 980	bois de tronc	Maurin, Haute-Ubaye (F-04)
5	<i>Larix decidua</i>	IMEP-649	1 650	bois de branche	Saint-Étienne-en-Dévoluy (F-05)
6	<i>Larix decidua</i>	IMEP-663	2 500	bois de tronc	Ceillac (F-05)
7	<i>Larix decidua</i>	IMEP-666	2 150	bois de tronc	Saint-Dalmas-le-Selvage (F-06)
8	<i>Larix decidua</i>	IMEP-714	2 350	bois de tronc	Ceillac (F-05)
9	<i>Larix decidua</i>	IMEP-C1	1 700	bois de tronc	Ceillac (F-05)
10	<i>Larix decidua</i>	IMEP-C4	1 600	bois de tronc	Ceillac (F-05)
11	<i>Larix decidua</i>	IMEP-C5	1 800	bois de tronc	Ceillac (F-05)
12	<i>Larix decidua</i>	IMEP-C7	1 700	bois de tronc	Ceillac (F-05)
13	<i>Larix decidua</i>	IMEP-C9	1 700	bois de tronc	Ceillac (F-05)

F : France ; 04 : Alpes-de-Haute-Provence ; 05 : Hautes-Alpes ; 06 : Alpes-Maritimes ; 07 : Ardèche ; 38 : Isère ; 67 : Bas-Rhin ; 74 : Haute-Savoie ; 84 : Vaucluse.

initial, iii) et iv) la présence d'épaississements spiralés dans les trachéides axiales et radiales et enfin v) le type de ponctuations aréolées des trachéides radiales.

Le but de notre travail étant aussi de parvenir à identifier des fragments d'une taille généralement inférieure au millimètre, nous n'avons pas tenu compte du critère concernant la position des canaux résinifères dans les rayons. Il est en effet impossible sur une petite surface de trouver un nombre statistiquement suffisant de ces canaux.

D'autre part, sur les charbons de *Larix* comme sur ceux de *Picea*, l'observation des ponctuations des parois des trachéides des rayons n'a été possible que dans le bois final. En effet, dans le bois initial, seules les ponctuations semi-aréolées de type picéoïde des cellules parenchymateuses sont apparentes (figure 2A) ; la paroi radiale des trachéides casse beaucoup plus rarement, ce qui ne permet pas l'observation de l'intérieur des structures. Ce problème ne se pose pas sur les coupes xylogiques car en lumière transmise, le détail des parois internes s'observe par transparence.

Résultats et discussion

Le tableau II rassemble toutes les observations effectuées sur nos échantillons.

Transition entre le bois initial et le bois final

On a vu qu'elle était considérée par tous les auteurs comme abrupte dans le genre *Larix* et progressive dans le genre *Picea*. Sur tous nos échantillons, le mélèze (*L. decidua*) présente bien une transition brusque du bois initial vers le bois final, visible dans les plans transversal et radial (figure 2A) ; mais trois échantillons d'épicéa (*P. abies*) sur les dix observés présentent eux aussi un passage brusque entre le bois initial et le bois final. Notons que, sur le charbon de bois, le passage du bois initial au bois final peut éventuellement être masqué du fait de la diminution de près de 70 % de l'épaisseur des parois cellulaires lors de la carbonisation [1]. Les observations d'Anagnost et al. [7] concernant ces deux espèces (quatre échantillons de *P. abies* et deux de *L. decidua*) sont encore plus significatives : un échantillon sur deux n'est pas « caractéristique ».

Ce critère est difficilement applicable à la détermination des charbons de bois trouvés dans les sols car ceux-ci, de petite taille, ne sont constitués le plus souvent que de bois final. Il n'a donc pas une grande valeur diagnostique et doit être utilisé en corrélation avec d'autres caractères.

Sériation des ponctuations des trachéides axiales du bois initial

Le caractère bisérié (figure 2B) a été observé sur la moitié seulement de nos échantillons de *Larix decidua*. Parmi les six qui ne présentent pas ce caractère, deux proviennent

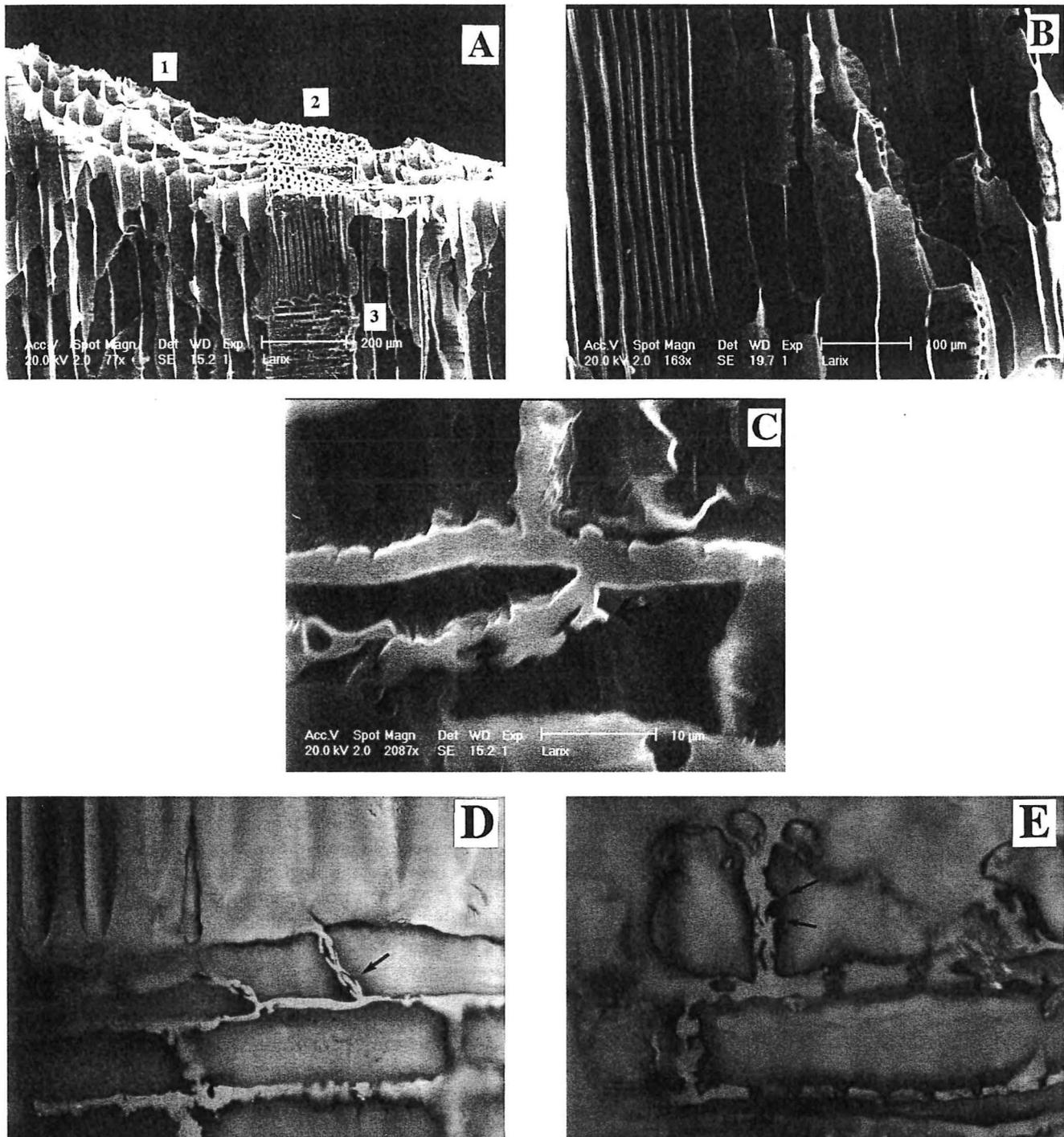


Figure 2.

A. Charbon de *L. decidua* (n° 738) en vues transversale et radiale. **1.** Bois initial ; **2.** bois final ; **3.** parois cassées dans les champs de croisement du bois final (Meb, $\times 77$). **B.** Charbon de *L. decidua* (n° 738) en vue radiale : bisériation des ponctuations aréolées des trachéides axiales (Meb, $\times 163$). **C.** Ponctuation aréolée dentée de type L-2 chez *L. decidua* (n° 159) (Meb, $\times 2\ 087$). **D.** Ponctuation aréolée de type L-1 chez *L. decidua* (n° C7) (Mo, $\times 1\ 000$). **E.** Ponctuation aréolée de type P-2 chez *P. abies* (n° 668) (Mo, $\times 1\ 000$).

de bois de branche et quatre de bois de tronc. À ce jour, toutes nos observations sur des échantillons de bois de branche confirment l'absence de bisériation sur les trachéides radiales. En revanche, le cas des quatre échan-

illons de bois de tronc est plus surprenant : trois des individus concernés (tableau I) sont des arbres chétifs prélevés à haute altitude et le quatrième provient des derniers cernes d'un arbre âgé d'environ 500 ans. La présence ou

non de bisériation sur les trachéides axiales du bois de tronc pourrait donc être le reflet des conditions écologiques et physiologiques de croissance des individus.

Chez *Picea abies*, aucune bisériation n'a été observée. Anagnost et al. [7] la signalent pourtant sur l'échantillon n° 1 de *Picea abies* en provenance de Russie, et Schwein-gruber [18], dans son atlas d'anatomie, illustre le plan radial de l'épicéa par une photo où quelques ponctuations bisériées sont visibles.

Ce caractère, rarement présent sur les très petits fragments constitués le plus souvent de bois final, peut cependant être observé sur certains charbons. Il n'est pas suffisamment discriminant et doit être utilisé de façon uniquement positive.

Épaississements spirales sur les trachéides axiales du bois final

Ces épaississements sont présents dans quasiment tous nos échantillons d'épicéa mais dans la moitié seulement de nos échantillons de mélèze. Ils se traduisent au niveau des champs de croisement par une ornementation des parois tangentiels des trachéides [7] qui apparaissent dentées. C'est parfaitement visible au microscope épiscopique à fort grossissement ; il faut cependant prendre garde au bois de compression, dont les striations obliques caractéristiques peuvent masquer les véritables épaississements.

Ce caractère ne peut donc être utilisé qu'avec beaucoup de précaution, car la plupart des charbons trouvés dans les sols proviennent de bois de compression. Employé seul, lui non plus ne permet pas de distinguer les deux espèces.

Épaississements spirales sur les trachéides des rayons du bois final

Ils sont régulièrement présents sur nos échantillons d'épicéa mais n'ont été observés que sur seulement un tiers des échantillons de mélèze. Comme précédemment, ils apparaissent dans les champs de croisement en coupe radiale comme des ornementations pariétales (dents sur les parois tangentiels et transversales). Sans valeur diagnostique propre, ce caractère devra être utilisé uniquement couplé avec d'autres.

Types de ponctuations aréolées des trachéides radiales du bois final

Au total, 50 ponctuations ont été observées et classées en fonction des types déjà établis [6, 7], en notant pour chaque individu les parois de la trachéide radiale sur lesquelles elles se trouvent (paroi tangentielle ou paroi transversale).

La présence de dents sur les aréoles des ponctuations des parois des trachéides radiales (figure 2E) est considérée comme le plus sûr critère pour reconnaître le genre *Picea* [6, 16]. Pourtant, ce type d'ornementation apparaît parfois chez *Larix* : des ponctuations de type P-2 ont ainsi été signalées chez *Larix lyallii* Parl., *L. occidentalis* Nutt. et

L. sibirica Ledeb [7]. Cela s'est vu confirmé pour nos échantillons de *Larix decidua* : nous avons pu observer en effet la présence de dents sur l'aréole des ponctuations des trachéides radiales. Mais un examen attentif de ces ponctuations à fort grossissement ($\times 1\ 000$) révèle qu'il ne s'agit pas de ponctuations de type P-2 : ces ponctuations dentées chez *L. decidua* sont des ponctuations de type *Larix* (L), dont l'aréole porte une ou plusieurs dents, qui ne sont jamais situées en position terminale. Nous les avons appelées ponctuations de type L-2 (figure 2C).

Ce type de ponctuation a été observé sur quatre individus de *Larix decidua* ainsi que sur deux individus de *Picea abies*. Il semble lié chez les deux espèces à la présence d'épaississements spirales sur les trachéides axiales du bois final.

Voici donc, d'après nos observations, les quatre types de ponctuations que l'on peut rencontrer dans les trachéides radiales de *L. decidua* et *P. abies* (figure 3) :

- i) Ponctuation de type *Larix*-1 : ponctuation dont les marges de l'aréole sont lisses et les extrémités arrondies ou légèrement effilées (L-1).
- ii) Ponctuation de type *Larix*-2 : ponctuation dont les marges sont dentées mais sans dent terminale, et les extrémités arrondies ou légèrement effilées (L-2).
- iii) Ponctuation de type *Picea*-1 : ponctuation dont les marges de l'aréole sont lisses et les extrémités carrées ou anguleuses (P-1).
- iv) Ponctuation de type *Picea*-2 : ponctuation dont les marges de l'aréole sont dentées et les extrémités anguleuses et terminées par une dent (P-2).

Ces différents types de ponctuations ne se trouvent pas avec la même fréquence chez les individus étudiés (tableau II). Chez *P. abies*, la majorité des ponctuations (42 %) se rattachent au type P-1. Les ponctuations de type P-2 et L-1 sont en proportion équivalente (28 et 29 %) tandis que le type L-2 ne se rencontre qu'exceptionnellement (1 %). Chez *L. decidua*, les ponctuations de type L-1 (figure 2D) sont les plus fréquentes (78 %), 20 % sont de type P-1 et seulement 2 % de type L-2. Enfin, aucune ponctuation de type P-2 n'a été observée.

D'autre part, l'étude de la répartition des ponctuations sur les deux types de parois des trachéides axiales, parois tangentiels et parois transversales (tableau II), montre que chez *Larix*, les ponctuations dentées, de type L-2, n'apparaissent que sur les parois tangentiels tandis que les autres types de ponctuations sont également répartis. Chez *Picea*, les ponctuations, qu'elles soient dentées ou non, apparaissent en proportion équivalente sur les parois tangentiels comme sur les transversales.

La présence de ponctuations de type P-2 dans les trachéides radiales du bois final est donc une caractéristique exclusive du bois de *Picea abies*. Cette constatation montre l'importance d'une observation très précise de ce type de ponctuation dentée, qui doit permettre de distinguer le type L-2 du type P-2. Un grossissement de $\times 1\ 000$ est donc indispensable.

Tableau II : Observations anatomiques des échantillons de bois carbonisé de *P. abies* et *L. decidua*.

Réf. IMEP	Transition Bi/Bf	Trachéides axiales			Trachéides radiales du bois final								
		Bois initial	Bois final	Ornementation parois (bois final)	Nombre et types de ponctuations								
					Sérialisation des ponctuations	Épaississement spiralés (Bf)	Parois tangentielles				Parois transversales		
		L-1	L-2	P-1			P-2	L-1	L-2	P-1	P-2		
<i>Picea</i>	111	A	U	+	D	3	3	19	4	9	0	8	4
	406	P	U	+	D	6	0	11	7	11	2	9	4
	603	P	U	-	D	2	0	9	8	3	0	13	15
	604	P	U	+	D	8	0	9	2	8	0	21	2
	648	A	U	+	D	8	0	7	8	3	0	13	11
	651	A	U	+	D	5	0	4	9	11	0	13	8
	652	P	U	+	D	7	0	6	8	10	0	14	5
	660	P	U	+	D	6	0	8	6	5	0	15	10
	668	P	U	-	D	15	0	8	0	3	0	9	15
	713	P	U	+	D	4	0	9	7	16	0	7	7
					<i>total</i>	64	3	90	59	79	2	122	81
					%	30	1	42	27	28	1	43	28
<i>Larix</i>	159	A	U	-	D	19	0	9	0	19	0	3	0
	377	A	U	+	D	14	2	5	0	21	0	8	0
	602	A	B	-	L	16	0	5	0	17	0	12	0
	607	A	B	-	D	18	0	6	0	18	0	8	0
	649	A	U	-	D	21	0	4	0	18	0	7	0
	663	A	U	+	L	20	3	4	0	18	0	5	0
	666	A	U	+	L	17	0	2	0	31	0	0	0
	714	A	U	+	L	22	0	0	0	25	0	3	0
	C1	A	B	-	L	19	0	5	0	23	0	3	0
	C4	A	B	-	L	21	0	2	0	20	0	7	0
	C5	A	B	+	L	14	5	3	0	23	0	5	0
	C7	A	B	-	L	14	0	5	0	23	0	8	0
	C9	A	B	+	L	21	3	2	0	18	0	6	0
						<i>total</i>	236	13	52	0	274	0	75
					%	78	4	18	0	78	0	22	0

I) P : progressive ; A : abrupte ; II) U : unisériés ; B : bisériés ; III) + : présents ; - : absents ; IV) D : dentées ; L : lisses ; V) Répartition des ponctuations en fonction des types de ponctuation et de paroi (50 observations par individu).

Tous ces critères doivent être utilisés avec précaution dans la détermination des fragments de petite taille récoltés dans les sols. En effet, si l'occurrence d'une seule ponctuation de type P-2 sur l'échantillon à déterminer permet d'identifier *Picea abies*, le fait de ne pas observer ce type de ponctuation n'est pas un critère d'identification de *Larix decidua* : l'absence d'un caractère n'a

aucune valeur diagnostique. Ainsi, on peut dire que *P. abies* se caractérise par la présence sur les parois des trachéides radiales de ponctuations de type P-2 et une forte proportion de ponctuations de type P-1 et que la prépondérance des ponctuations de type L-1 est caractéristique de *L. decidua*.

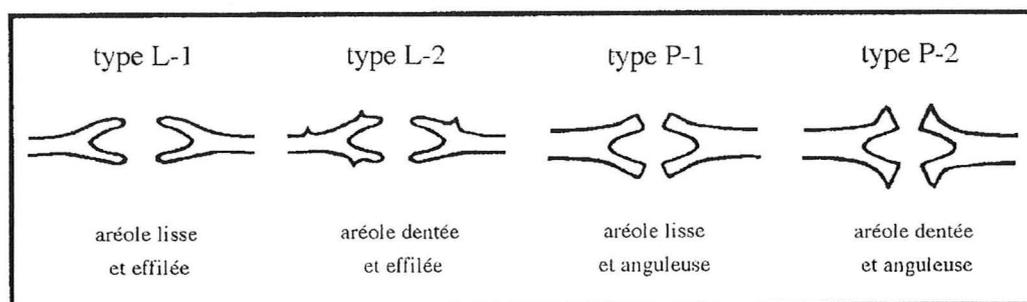


Figure 3. Types de ponctuations aréolées des trachéides radiales observées sur le charbon de bois de *L. decidua* et *P. abies*.

Ces conclusions tirées de l'observation du bois final des charbons de *L. decidua* et *P. abies* sont en accord avec celles énoncées par Anagnost et al. [7] mais vont à l'encontre de ce qu'écrivait Bartholin [6] (« I want to point out, though, that the method is not applicable on charcoal, where the bordered pits have often been burnt away ») : les détails des ponctuations aréolées sont au contraire parfaitement visibles sur le bois carbonisé, malgré les quelques modifications dues à la carbonisation [1].

Conclusion

Cette étude, menée principalement dans le but de distinguer les charbons de bois de *Larix decidua* Mill. ou *Picea abies* (L.) Karst. **de taille millimétrique** récoltés lors de nos prélèvements pédoanthracologiques dans les Alpes, a permis de montrer que les critères de détermination du bois décrits par Bartholin [6] puis Anagnost et al. [7] étaient applicables au bois carbonisé. En raison de la petite taille de ces fragments, on ne peut avoir recours aux seuls critères reposant sur l'observation de structures anatomiques, telles que le type de transition entre le bois ini-

ABRIDGED VERSION

Pedoanthracological studies, carried out within the framework of research on the variations of the timberline in the French Alps during the Holocene, are based on the determination and interpretation of charcoal pieces of millimetric size, the smallest one not exceeding 600 mm. These are mostly ring fragments, in which only the latewood and the compression wood have been preserved. The interpretation of our results made it necessary to distinguish between two species that are anatomically very close to one another: *Larix decidua* Mill. and *Picea abies* (L.) Karst., both of them being present in the study area. The *Larix* and *Picea* s.l. genera are usually considered to be unclearly distinguishable from one another. Existing wood descriptions report general trends in the transition between earlywood and latewood, the situation of the resin canals in the rays, the biseriation of bordered pits in longitudinal tracheids and the ornamentation of radial walls. But the only reliable discriminating criterion was defined by Bartholin and confirmed by Anagnost et al. from the study of various *Picea* and *Larix* species. It concerns the bordered pits of the ray tracheids. Three types of pits can be distinguished according to the aspect of the border: smooth pit border and pointed walls (*Larix* type), smooth pit border and thickened walls (*Picea*-1 type), indented pit border and thickened walls (type *Picea*-2). **The originality of the present study was to apply these criteria to charcoal pieces: ten specimens of *Larix decidua* Mill. and 13 specimens of *Picea abies* (L.) were sampled, carbonised and examined under an episcopic microscope equipped with a differential interference contrast, with a magnification of $\times 200$, $\times 500$ and $\times 1\ 000$. The following results were obtained. i) The transition between earlywood and latewood, which is abrupt in *Larix*, and gradual (though**

tial et le bois final ou la présence de ponctuations aréolées bisériées sur les trachéides axiales du bois initial, ni considérer comme significative l'absence d'un caractère. Le critère de distinction le plus pertinent est bien l'allure des ponctuations aréolées des trachéides radiales. Leur étude à fort grossissement a permis de décrire un deuxième type de ponctuation dentée : le type L-2, présent chez les deux espèces mais qui apparaît uniquement sur les parois tangentielles des trachéides chez *Larix*. Ainsi, la présence de ponctuations dentées de type P-2 et la dominance de ponctuations de type P-1 dans les trachéides des rayons du bois final, permet de déterminer avec certitude un charbon de *P. abies* tandis que la reconnaissance de *L. decidua* repose sur un plus grand nombre de critères, qui sont la présence de nombreuses ponctuations bisériées sur les trachéides axiales du bois initial, le passage brusque entre le bois initial et le bois final et le type de ponctuations des parois des trachéides des rayons du bois final qui sont en majorité de type L-1. **Quand ces critères ne sont pas visibles sur l'échantillon étudié, que ce soit en raison de la taille du fragment ou de son état de conservation, l'incertitude entre *Larix* ou *Picea* ne pourra pas être levée.**

not always) in *Picea*, is a feature that can be easily used in charcoal determination, though with more difficulty in the case of small pieces including only one ring. This characteristic should then be coupled with other features. ii) The biseriate bordered pits on the longitudinal tracheids of the earlywood appear very rarely in *P. abies*, whereas they are typical features of *L. decidua*, in which they cover great portions of tracheids. However, in the latter species they are never observed in the branches or in the trunks of trees affected by ecological stress. The presence of this feature is therefore a positive criterion in charcoal determination, but its absence has no diagnostic significance. iii) and iv) The presence of spiral thickenings on longitudinal and radial tracheids of latewood should be used with more caution, as there is a risk of confusion with the striae of the compression wood. This character does not have a diagnostic value for either of the two species studied. v) Lastly, the bordered pits of the ray tracheid walls have been analysed in detail. For each specimen, 50 pits were described and classed following the criteria defined by Anagnost et al., particular attention being paid to the presence of indentations on the pit borders: these indentations, which are considered to be typical of the genus *Picea*, were detected also in *Larix*. Careful high magnification microscopic examination revealed a type of pit different from type P-2: the borders with pointed walls type *Larix*, show one or several indentations, but the latter are never present at the extremity of the border. We called them type L-2 pits. Four types of bordered pits have thus been defined in charcoal from *Larix decidua* and *Picea abies*: L-1, L-2, P-1 and P-2. All of them are present in *P. abies*, with a predominance of type P-1 pits, whereas *L. decidua* is characterized by a predominance of type L-1 and the total absence of P-2. The presence

of type P-2 pits in the ray tracheids of latewood is a sufficient criterion to identify *P. abies* charcoal. However, their absence may enable one to determine *L. decidua*, only on condition that at least 50 pits can be observed. This is hardly possible on a piece of charcoal smaller than one millimeter. The crite-

ria defined by Bartholin and Anagnost et al. for wood determination can therefore be applied to the charcoal of the two species considered, but only the characteristic of the bordered pits of ray tracheids in the latewood is a really discriminating criterion.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du contrat EGNP « Histoire, évolution et dynamique des limites supra-forestières en relation avec les changements climatiques et l'action de l'homme » (Draei 93019). L'auteur remercie M. Pellet et C. Rolando pour la traduction anglaise.

RÉFÉRENCES

1. Thion M. 1992. L'analyse pédoanthracologique. Aspects méthodologiques et applications. Doctorat ès sciences biologiques, université d'Aix-Marseille-III, Marseille
2. Tessier L., Beaulieu J.-L. de, Coûteaux M., Edouard J.-L., Ponel P., Rolando C., Thion M., Thomas A., Tobolski K. 1993. Holocene palaeoenvironment at the timberline in the Alps (Taillefer Massif, French Alps): a multidisciplinary approach. *Boreas* 22, 244-254
3. Carcaillet C., Thion M. 1995. Pedoanthracological contribution to the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps): Methodology and preliminary data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 91, 399-416
4. Talon B., Thion M., Carcaillet C. 1997. Apport de la pédoanthracologie à l'étude des variations de la limite supérieure des arbres au cours des derniers millénaires dans les Alpes françaises. *Géographie Physique et Quaternaire* (sous presse)
5. Thion M., Talon B. 1997. Ampleur de l'anthropisation des étages supérieurs dans les Alpes du Sud : données pédoanthracologiques. *Écologie* (sous presse)
6. Bartholin T. 1979. The *Picea-Larix* problem. *IAWA Bull.* 1, 8-10
7. Anagnost S.E., Meyer R.W., Zeeuw C. de. 1994. Confirmation and significance of Bartholin's method for the identification of the wood of *Picea* and *Larix*. *IAWA Journal* 15, 171-184
8. Jacquot C. 1955. *Atlas d'anatomie des bois de conifères*. Centre technique du bois, Paris
9. Schweingruber F.H. 1978. *Anatomie microscopique du bois*. Swiss Federal Inst. For. Res., Zürich
10. Phillips E.W.J. 1949. Identification of softwoods by their microscopic structure. *For. Prod. Res. Bull.* 22 (HMSO, Londres)
11. Greguss P. 1955. *Identification of living Gymnosperms on the basis of xylotomy*. Akadémiai Kiadó, Budapest
12. Boureau E. 1957. *Anatomie végétale : l'appareil végétatif des phanérogames*. II. Puf, Paris
13. Venet J. 1974. *Identification et classement des bois français*. Engref, Nancy
14. Grosser D. 1977. *Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas*. Springer-Verlag, Berlin
15. Giordano G. 1981. *Tecnologia del legno. Vol. 1 : la materia prima*. UTET, Torino
16. Barefoot A.C., Hankins F.W. 1982. *Identification of Modern and Tertiary Woods*. Clarendon Press, Oxford
17. Wilson K., White D.J.B. 1986. *The Anatomy of Wood*. Stobart & Son Ltd., Londres
18. Schweingruber F.H. 1990. *Anatomie europäischer Hölzer. Anatomy of European woods*. Eidgenöss. Forschungsanst. f. Wald, Schnee u. Landschaft, Birmensdorf. Verlag Paul Haupt, Berne
19. Thion M. 1988. Utilisation de la microscopie épiscopique interférentielle pour l'identification botanique des charbons de bois. *Pact* 22, 179-18