

La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu

par Lucie CHABAL

*Laboratoire de Paléobotanique, Environnement et Archéologie, U.R.A. 1477,
Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place E. Bataillon, F-34095 Montpellier*

Résumé. - Les méthodes d'étude et d'interprétation anthracologique pour la reconstitution paléo-écologique de la végétation manquent souvent de rigueur. Une méthode précise d'échantillonnage, excluant les foyers, et une analyse statistique de la fragmentation sont développées ici. Le problème de la réduction de masse n'est pas encore résolu. Sur ces bases, l'hypothèse de représentativité paléo-écologique des charbons de bois peut être argumentée. Des principes d'interprétation paléo-écologique sont proposés.

Summary. - Current methods used in the study and interpretation of archaeological charcoal fragments are not sufficiently rigorous to reconstruct the palaeoecology of past vegetation accurately. A rigorous sampling method, excluding fireplaces, and a statistical analysis of charcoal fragmentation are developed here. The problem of mass reduction is not yet resolved. On this basis, the hypothesis of palaeoecological representativity of charcoal is disputable. New principles of palaeoecological interpretation are proposed.

Key words : charcoal analysis - palaeoecology - charcoal - fuel wood - sampling.

*
* *

L'HYPOTHESE DE REPRÉSENTATIVITÉ PALÉO-ÉCOLOGIQUE DES CHARBONS DE BOIS

Les charbons de bois issus du bois de feu recueillis dans un gisement archéologique nous donnent une information sur la végétation passée. Mais quelle information ?

On sait depuis longtemps que le bois, carbonisé ou non, provenant d'activités spécifiques (charpente, combustibles de foyers métallurgiques, de fours de boulange, etc.) a fait l'objet d'une sélection dans le milieu et que les informations qu'il apporte concernent en premier lieu l'activité considérée.

0,41%	<i>Abies cf. A. alba</i>
0,41%	<i>Acer monspessulenum</i>
24,38%	<i>Alnus glutinosa</i>
1,24%	<i>Arbutus unedo</i>
10,33%	<i>Buxus sempervirens</i>
3,31%	<i>Cistaceae</i>
0,41%	<i>Cornus</i>
0,41%	<i>Erica arborea</i>
1,24%	<i>Erica arborea-E. multiflora-E. scoparia</i>
1,24%	<i>Ficus carica</i>
1,24%	<i>Fraxinus angustifolia Subsp. oxycarpa-F. excelsior</i>
0,41%	<i>Ilex aquifolium</i>
0,41%	<i>Juniperus</i>
0,83%	<i>Phillyrea-Rhamnus alaternus</i>
0,41%	<i>Pinus nigra Subsp. salzmannii-P. sylvestris</i>
0,41%	<i>Pinus</i>
3,31%	<i>Pistacia lentiscus</i>
0,41%	<i>Pistacia terebinthus</i>
2,07%	<i>Pistacia</i>
1,24%	<i>Roseaceae Pomoidae</i>
7,44%	<i>Populus</i>
0,41%	<i>Prunus dulcis</i>
13,22%	<i>Quercus ilex-Q. cocifera</i>
0,83%	<i>Quercus à feuillage caduc</i>
0,41%	<i>Quercus</i>
0,41%	<i>Salix</i>
23,14%	<i>Ulmus minor</i>
100%	TOTAL EN %
242	Nombre de charbons de bois identifiés

Fig. 1.- Exemple de spectre anthracologique : liste des taxons et leurs fréquences relatives en nombre relatif de charbons de bois dans le décapage 23A, zone 1011, du site Le Marduel, Gard (d'après Chabal, 1991).

Fig. 1.- An example of charcoal analysis spectrum : taxa and their relative frequencies expressed as relative numbers of charcoal fragments in stratum 23A, zone 1011, Marduel site, Gard (Chabal, 1991).

En revanche, pour chaque couche archéologique datée, un ensemble de charbons de bois correctement échantillonnés dans les résidus du bois de feu domestique permet d'obtenir un spectre anthracologique (Fig. 1) - c'est-à-dire une liste de taxons et leurs proportions, généralement exprimées en nombre relatif de fragments - représentatif du milieu d'approvisionnement en bois.

En Europe occidentale, on a depuis longtemps remarqué la richesse floristique et la diversité écologique des assemblages anthracologiques, pour des périodes préhistoriques ou historiques, jusqu'au Moyen Age au moins. Par exemple, pour un site de l'Age du Fer dans le sud de la France (Le Marduel, Gard), chaque couche archéologique révèle entre 12 et 23 taxons, au total 35 espèces, nombre minimum, pour l'ensemble du site (Chabal, 1991). Cette richesse et cette diversité en taxons attestent qu'à toutes les époques l'Homme prélevait des espèces ligneuses variées au plan des

caractéristiques morphologiques ou des qualités combustibles et que des biotopes très divers étaient exploités pour le combustible domestique.

De plus, de nombreux auteurs (Vernet, 1972, 1973 ; Fancelli Galletti, 1972 ; et nombreux travaux) pensent que l'évolution des proportions entre taxons au cours du temps est interprétable comme le reflet des transformations du milieu d'approvisionnement en bois, sous l'effet du climat ou des activités humaines, et non uniquement comme l'évolution de cet approvisionnement. Cette affirmation est formulée à titre d'hypothèse, parce qu'elle n'est pas démontrable mais induite par des observations. En effet, il y a un saut, non observable, entre l'objet de l'observation, les charbons de bois, et l'objet de la recherche, la végétation passée.

On peut formuler ainsi l'hypothèse anthracologique :

1 - la liste et les proportions entre taxons d'un spectre anthracologique sont fonction de la végétation dans l'aire de prélèvement du bois, à condition que les charbons de bois soient issus du bois de feu domestique et proviennent d'une durée d'activité importante, ce qui repose entièrement sur un échantillonnage méthodique (à définir) dans chaque couche archéologique.

2 - cette image de la flore et de la végétation environnant le site pour cet intervalle de temps est intelligible en termes de variations floristiques et structurales de la végétation passée.

LES CONDITIONS PRÉALABLES DE L'HYPOTHESE ANTHRACOLOGIQUE

Avant tout échantillonnage des charbons de bois en vue d'une étude de l'environnement, il faut avant tout s'assurer de deux conditions minimales :

1 - Les charbons de bois doivent provenir du bois de feu domestique

Pourquoi ? Des exemples précis en anthracologie ont montré que le bois provenant de tout autre usage que l'utilisation domestique du bois de feu, tel le bois de charpente, a fait l'objet d'une sélection forte, comme en témoigne surtout le faible nombre d'espèces retrouvées pour chaque activité, et parfois leurs propriétés particulières ou leur origine exogène. Le seul bon sens suffit à écarter ces restes des interprétations paléo-écologiques quantitatives de l'anthracologie. Au contraire, le caractère peu sélectif du prélèvement du bois de feu est attesté en première approximation par sa richesse en espèces.

Comment garantir cette condition ? Les charbons de bois issus du bois de feu domestique sont associés, dans les sédiments archéologiques, à d'autres déchets de l'activité domestique (céramique, ossements et graines carbonisées provenant de l'activité vivrière, débris de foyers, etc.).

2 - Les charbons de bois doivent être les résidus d'une durée d'activité suffisamment longue

Pourquoi ? Il y a une corrélation directe entre la durée de ramassage du bois et la surface d'espace végétal échantillonné. Ainsi, si la durée est courte, par exemple quelques jours, la surface de territoire visitée pour l'approvisionnement en bois de feu sera partielle, arbitraire, morcelée, et la fraction d'environnement que représentent les charbons de bois ne pourra que nous échapper, dans sa taille comme dans sa localisation. Mais si la durée est grande (quelques années d'activité), l'aire exploitée sera maximale, et elle aura même été plusieurs fois visitée en totalité (Chabal, 1988).

Comment garantir cette condition ? Alors que l'idée de charbons de bois évoque immédiatement celle de foyer, tous les charbons de bois concentrés (foyer, rejet de foyer) risquent d'être majoritairement les résidus du dernier feu ou des quelques derniers feux, précédant l'abandon ou la réfection de l'habitat et figés par la sédimentation : ces charbons de bois livrent peu d'espèces (Chabal, 1988) et ont très peu de chances de donner une image exacte de la végétation, ce qui explique que les premières études anthracologiques aient eu un intérêt principalement biogéographique, très nouveau mais partiel. A l'opposé, les charbons de bois dispersés au sein des sédiments fournissent un grand nombre d'espèces (Chabal, 1982, 1988). Pour garantir la condition de durée, il faut donc préférer l'étude des charbons de bois dispersés dans les couches archéologiques et écarter le plus souvent possible les foyers et autres concentrations. Les couches archéologiques qui remplissent cette condition sont les sédimentations de sol d'habitat (dépôt domestique progressif *in situ*) et les remblais riches en déchets domestiques (déplacement rapide et volontaire de déchets initialement déposés lentement), à l'exclusion de toute concentration de charbons de bois s'y trouvant. Pour la protohistoire et la période romaine, il est en outre nécessaire que la couche archéologique ait reçu une datation serrée, c'est-à-dire inférieure à 50 ans (Bats *et al.*, 1986), ce qui permet d'exclure un contenu hétéroclite.

L'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillon de charbons de bois dispersés dans les sédiments doit être fiable au plan statistique. Pour cela, on peut s'intéresser à la répartition en plan des fragments, ou bien à la répartition des taxons et de leurs fréquences.

La répartition des charbons de bois dans les sédiments

La répartition des charbons de bois, tous taxons confondus, est de type agrégatif (ou contagieux), par opposition à une répartition aléatoire, ou à une répartition régulière (Fig. 2). Pour représenter au mieux toutes les parties de la couche archéologique, il faut tenir compte de ce caractère groupé (Chabal, 1991). L'échelle d'agrégation, ou "grain" de la structure, dépend de la nature archéologique du dépôt (remblai ou sédimentation de sol).

En pratique, pour une couche archéologique, les unités de prélèvement qui, cumulées, donneront l'échantillon, peuvent être espacées de 1 m ou de 1/2 m.

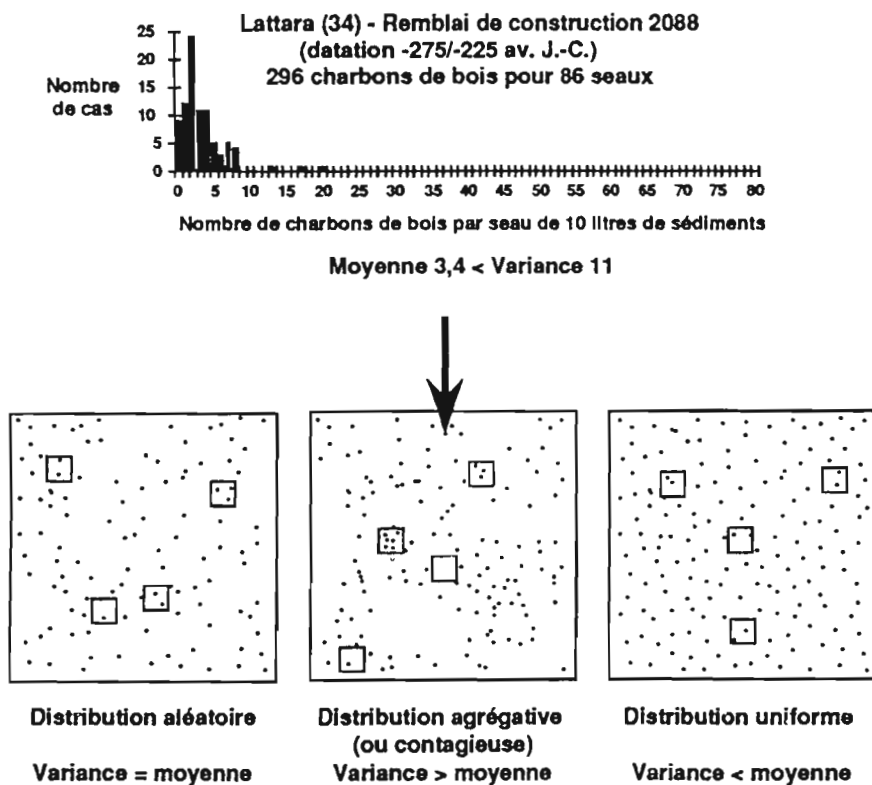


Fig. 2.- Exemple d'histogramme de dispersion des charbons de bois par seau de 10 litres de sédiments et répartition agrégée correspondante dans la couche archéologique.

Fig. 2.- Histogram showing dispersal of charcoal fragments per 10 litres bucket of sediment and corresponding contagious distribution in the archaeological stratum.

La répartition des taxons et de leurs fréquences

On peut observer la répartition en plan des taxons et de leurs fréquences. Par exemple, quatre carrés d'environ 1 m² d'un remblai du Marduel, pour 860 charbons de bois, montrent une répartition des taxons très régulière sinon uniforme, et les intervalles de confiance statistiques de leurs fréquences relatives se chevauchent pratiquement tous (Fig. 3). Ce résultat n'est pas un cas isolé, il est général, quelle que soit la nature de la couche archéologique. Cette répartition est très intéressante pour garantir la fiabilité statistique de l'échantillonnage.

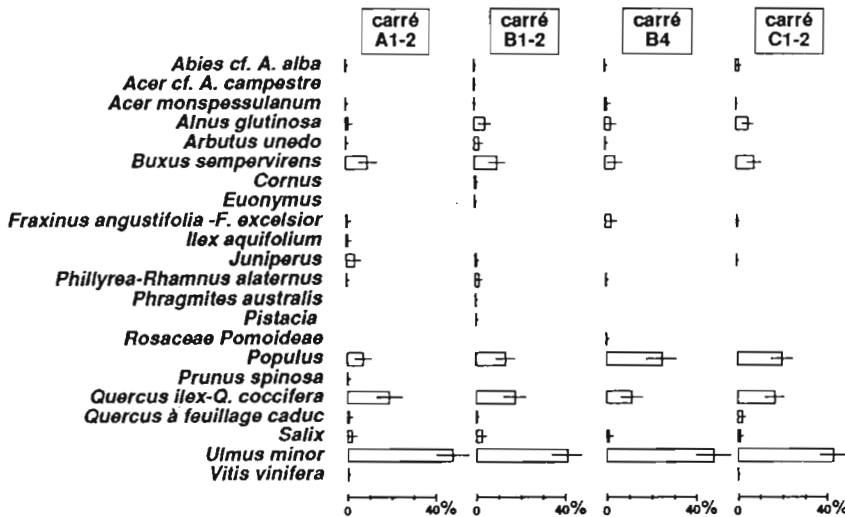


Fig. 3.- Répartition uniforme des taxons et de leurs fréquences relatives, dans quatre carrés d'environ 1 m² d'un niveau archéologique (Le Marduel, Gard, zone 1011 déc. 21) (d'après Chabal, 1988).

Fig. 3.- Uniform distribution of taxa and their relative frequencies in four one square metre plots of an archaeological level (Le Marduel, Gard, stratum 23A, zone 1011) (Chabal, 1988).

Mais elle semble avoir une implication plus essentielle encore. Pour expliquer cette répartition, on pourrait penser qu'il y a eu un brassage mécanique important des sédiments et des charbons de bois dans l'ensemble du niveau archéologique. Mais ceci n'est pas vraisemblable pour les sédimentations de sol, dont on sait qu'elles se déposent au fur et à mesure de l'activité humaine, au point que souvent un "litage" des sédiments est observable. Il faut plutôt penser que l'on est en présence des résidus de très nombreux feux, chacun ayant laissé très peu de traces, dispersées à partir des foyers. Une forte consommation en bois de feu, sur une longue durée, avec disparition presque totale du bois en cendres paraît la meilleure hypothèse pour expliquer ce "brassage statistique". Selon ce schéma, il est probable qu'un arbre entier, brûlé en quelques semaines dans un foyer domestique, ne laisse que quelques charbons de bois à l'anthracologue. Un corollaire est qu'il serait très risqué de vouloir restituer, à partir de charbons de bois archéologiques, des masses absolues de bois brûlés.

On objecte parfois à la représentativité paléo-écologique des fréquences relatives des taxons la possibilité que des déchets de bois de construction,

par exemple, aient pu être brûlés volontairement et mêlés au bois de feu. En termes de présence de taxons, c'est indéniable, mais les remarques précédentes confirment qu'un évènement aussi bref par rapport à la durée représentée dans l'échantillon ne pourrait concerner que des proportions négligeables dans les charbons de bois dispersés.

La précision de l'échantillonnage

Plus l'effort d'échantillonnage est grand, mieux sera représenté le contenu du niveau archéologique. Selon la maille d'échantillonnage définie, l'effectif optimal de l'échantillon, par rapport à l'effort de prélèvement et d'analyse, est de 250 à 400 fragments (obtenus par tamisage à 4 mm), ce nombre dépendant des fréquences relatives des taxons (Chabal, 1988, 1991).

En revanche, il n'est pas certain que parce que l'effort d'échantillonnage est plus grand, la végétation passée sera mieux représentée. Comment déterminer alors l'effort de prélèvement utile ?

L'étude de niveaux synchrones d'un même site montre un contenu très proche (voir *infra*). Cela veut dire que l'approvisionnement en bois, la combustion et la conservation dans les sédiments ont été des facteurs égaux à eux-mêmes pour chaque habitation. Pourtant, il y a de petites différences entre deux échantillons, de l'ordre de quelques pour cent pour les taxons fréquents. On ignore encore le pourquoi de ces différences : y a-t-il une différence de fragmentation ? A-t-on échantillonné suffisamment de fragments ? Ou encore est-ce que les contenus de ces deux niveaux sont légèrement, mais irréductiblement différents ? C'est-à-dire que l'on atteint peut-être une limite absolue de précision des fréquences anthracologiques. Dans ce cas, il ne sert à rien de vouloir obtenir ou interpréter des données plus précises. La répétition de cette expérience permettra de chiffrer les limites absolues de précision de la discipline.

LES ARGUMENTS DE L'HYPOTHESE ANTHRACOLOGIQUE

Peut-on apprécier directement la fiabilité paléo-écologique des charbons de bois ?

Les espèces ligneuses présentes dans l'environnement d'un site ont-elles été choisies par l'homme pour le bois de feu, par exemple en fonction de leurs caractéristiques combustibles, ou bien les proportions entre taxons identifiés reflètent-elles la composition structurale de la végétation ? Pour répondre directement à cette question, il faudrait disposer d'autres informations, plus directes ou plus fiables, sur la végétation passée.

La palynologie, qui évite l'écueil de l'intervention humaine volontaire dans la perception de la végétation est, malgré ses difficultés propres, souvent congruente avec l'anthracologie. De nombreuses confrontations positives ont été effectuées par d'autres auteurs pour la Préhistoire (Leroyer et Heinz, dans ce volume). Pour l'époque romaine, l'étude anthracologique de sites languedociens (Ambrussum, Lattara, Caissargues et Luncl Viel) permet d'interpréter un état de déboisement important [Chabal *in* Fiches (dir.), 1989 ; Ambert et Chabal *in* Py (dir.), 1992 ; Chabal, 1991 ; Chabal, inédit] : indépendamment, ou après l'étude anthracologique, les pollens provenant des sédiments archéologi-

ques de ces mêmes sites ont confirmé l'état très déboisé de la plaine [Planchais *in* Fiches (dir.), 1989 ; Loublé *in* Py (dir.), 1992 ; Planchais inédit ; Bui Thi Mai, inédit]. Dans ce cas, les informations fournies par les deux disciplines sont complémentaires, puisque la palynologie enregistre un milieu essentiellement herbacé en plaine, alors que l'anthracologie, qui n'enregistre que des ligneux, perçoit des chênaies plus lointaines sur les hauteurs.

Les autres disciplines paléo-environnementales et les études d'autres restes archéologiques (graines et fruits, faune consommée, avifaune, malacofaune ...), fréquemment congruentes avec les interprétations anthracologiques, en sont surtout complémentaires. En effet, leur perception du milieu concerne le plus souvent des échelles de temps et d'espace différentes de celle de l'anthracologie.

La fiabilité d'une discipline n'est pas démontrable à partir d'autres disciplines et l'anthracologie nécessite une argumentation propre.

La cohérence propre de l'anthracologie

Les interprétations paléo-écologiques sont cohérentes à l'intérieur de la discipline, entre sites et dans le temps. Des études de plus en plus nombreuses en font état. Par exemple, pour deux sites du Midi de la France : Unang, Vaucluse (Thiébaud, 1983) et La Pujade, Aveyron (Krauss-Marguet, 1981), on constate pour les principales espèces la même évolution anthracologique, du Mésolithique à l'Age du Bronze, attribuée successivement au réchauffement climatique puis à l'altération de la chênaie par l'homme (Fig. 4). Plus tard, on trouvera d'autres synchronismes d'évolution de la végétation, liés à l'évolution économique régionale. Tel est le cas du déboisement des basses plaines en Languedoc avant l'époque romaine (Chabal, 1991).

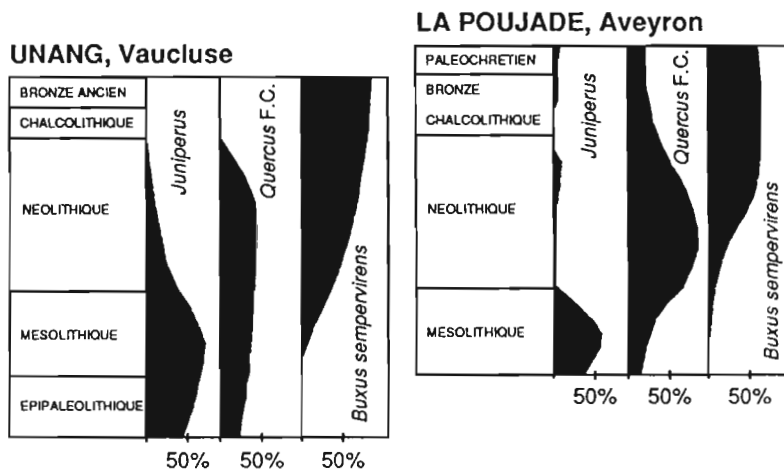


Fig. 4.- Evolution relative des trois principaux taxons pour deux diagrammes anthracologiques du sud de la France (d'après Thiébaud, 1983 et Krauss-Marguet, 1981).

Fig. 4.- Relative evolution of the three main taxa in two charcoal analyses from the South of France (Thiébaud, 1983 and Krauss-Marguet, 1981).

Les trois arguments de l'hypothèse anthracologique

1 - Les échantillons sont riches en espèces

Cette observation déjà évoquée est la première, historiquement, faite par l'anthracologie. Moyennant un échantillonnage correct sur les fouilles, on trouve jusqu'à 35 espèces ligneuses pour un site, ce qui est remarquable. De plus, dans ces espèces tous les milieux d'origine et tous les types de ligneux (épineux, petits calibres, espèces subordonnées) sont représentés. L'image floristique est toujours très riche.

2 - Les observations anthracologiques sont reproductibles

Deux niveaux synchrones d'un même site (pour deux habitations), ayant donc existé dans un même environnement végétal, livrent un contenu anthracologique très proche (16 espèces en commun, et en proportions voisines) (Fig. 5). Il ne peut pas s'agir de l'étalement des charbons de bois depuis un même foyer. Ceci implique que l'observation anthracologique est reproductible et que les charbons de bois sont une fonction de l'environnement végétal du site à cette époque (Chabal, 1988). Ceci n'implique aucun présupposé sur la façon dont cette fonction pourrait déformer les pourcentages des espèces par rapport à la végétation d'origine.

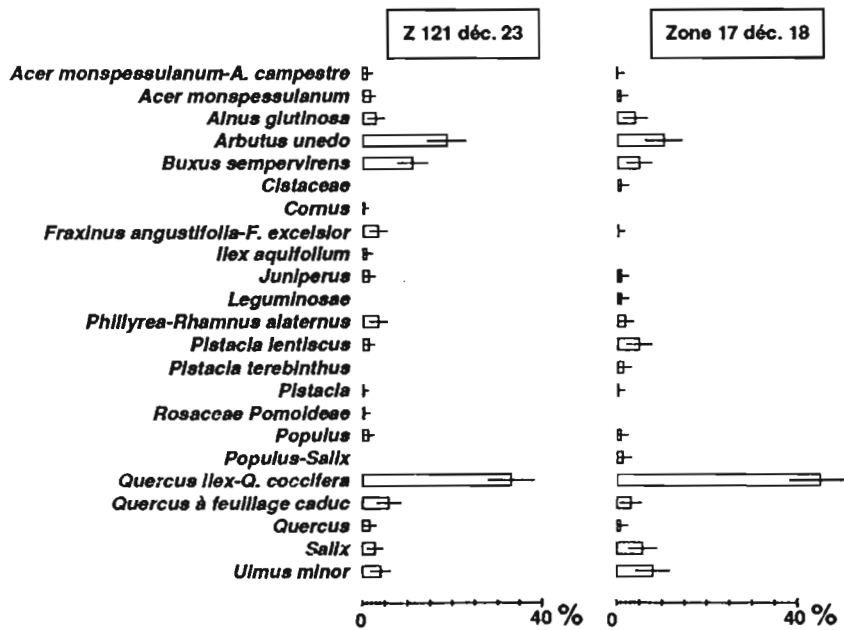


Fig. 5.- Reproductibilité du spectre anthracologique dans deux couches archéologiques de même datation (- 350/-325) provenant du site du Marduel, Gard, et éloignées de plus de dix mètres (d'après Chabal, 1988).

Fig. 5.- Comparison of results from repeated charcoal analyses in two synchronous archaeological strata (-350/-325 B.C.) more than 10 metres apart, Marduel site, Gard : the species and their frequencies are almost the same (Chabal, 1988).

3 - Les spectres anthracologiques ressemblent à la végétation actuelle

La cohérence de l'anthracologie avec l'écologie de l'actuel permet de penser que le spectre anthracologique est une représentation peu déformée des proportions entre espèces ligneuses dans la végétation passée dont ils proviennent.

En effet, moyennant un échantillonnage correct sur les fouilles, les espèces les plus fréquentes dans les charbons de bois sont, pour les périodes post-glaciaires au moins, des espèces dominantes dans les paysages actuels. Dans un échantillon de charbons de bois, on n'observe jamais la dominance d'espèces subordonnées dans la végétation actuelle, mais bien la dominance des Chênes, du Hêtre, des Pins, etc.

La hiérarchie des espèces est conservée de façon plus fine encore : si on trace le cumul des fréquences relatives des espèces dans les charbons de bois, en fonction du rang de ces espèces exprimé en pourcentage, on obtient une "courbe de concentration de Pareto", qui présente un point remarquable à l'intersection de la deuxième diagonale (Fig. 6). Ce point résume la courbe et signifie simplement que dans cet échantillon, 20 % des espèces possèdent à elles seules 80 % des fréquences anthracologiques. Cette valeur (20/80) est pratiquement générale dans les échantillons anthracologiques, et elle est conforme à ce qui est observé dans des communautés végétales actuelles (Godron *et al.*, 1971 ; Poissonet *et al.*, 1973) : au-delà d'un simple rapport de dominance, il existe, sous nos climats, une contribution relative précise des espèces composant une communauté végétale à la masse végétale. L'indice de concentration de Pareto rend compte de phénomènes biologiques de compétition et d'équilibre, de proportions non quelconques entre espèces dominantes et espèces subordonnées.

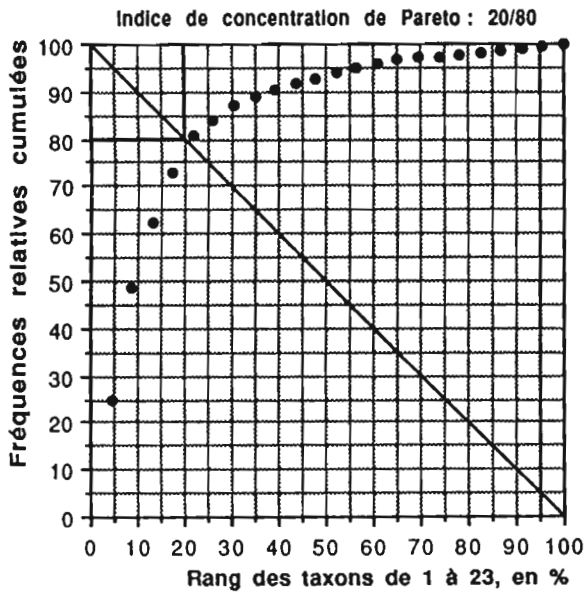


Fig. 6.- Courbe de concentration de Pareto pour un spectre anthracologique : 20 % des taxons possèdent 80 % des fréquences (Le Marduel, Gard, zone 1011 déc. 23A, datation -500/-475).

Fig. 6.- Pareto concentration curve for a charcoal analysis spectrum : 20 % of the taxa constitute 80 % of the occurrences (Marduel site, Gard, stratum 23A, zone 1011, dated -500/-475 B.C.).

Cette hiérarchie a aussi son importance en vision diachronique. Si des populations avaient prélevé les espèces à l'encontre de leur abondance relative dans la végétation, ceci se traduirait par une incohérence écologique à l'intérieur du diagramme, des variations successives inexplicables, et en ce sens repérables.

CARACTÉRISER L'INFORMATION ANTHRACOLOGIQUE

De la végétation au spectre anthracologique

Malgré la faible déformation apparente des spectres anthracologiques par rapport à la végétation passée, on ne sait pas décoder précisément un spectre isolé. Ceci n'est pas étonnant, puisque tout spectre anthracologique est une information très résumée par rapport à la végétation d'origine. Il ne nous renseigne pas directement :

- sur la masse totale de bois brûlée,
- sur l'aire totale d'approvisionnement en bois,
- sur le taux de boisement dans cette aire et, d'une manière plus large, sur la structure de la végétation dans cette aire.

On peut trouver, par exemple, 80 % de Chêne vert dans le bois de feu. Ce pourcentage peut rendre compte d'un paysage très boisé mais peut tout aussi bien se rapporter à un paysage très déboisé, dans lequel la prédominance du Chêne vert parmi les ligneux est seulement relative [Chabal *in* Fiches (dir.), 1989], ce que confirme éventuellement la palynologie [Planchais *in* Fiches (dir.), 1989].

On a finalement une projection d'un ensemble de départ qui est de dimension trois, la végétation, vers une grandeur qui est de dimension 1, la distribution de fréquences des taxons dans les charbons de bois (Fig. 7). C'est pourquoi, avant même de se demander si un spectre anthracologique est déformé, biaisé, par rapport à la végétation d'origine, il faut d'abord considérer qu'il est fortement transformé, c'est-à-dire qu'il nous donne une information très différente de ce que l'on peut observer ou mesurer dans un paysage actuel : il est, au mieux, une fonction de la végétation dans l'aire de prélèvement du bois.

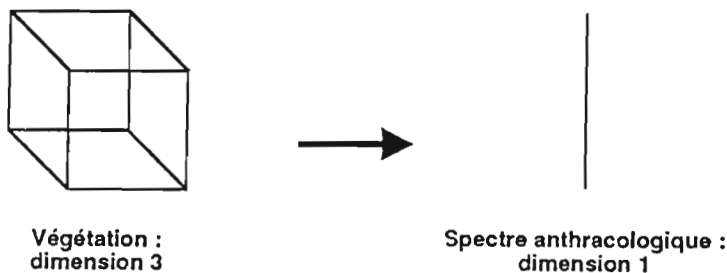


Fig. 7.- Le spectre anthracologique, projection en dimension 1 d'une réalité de dimension 3
 Fig. 7.- Charcoal analysis spectrum, as the projection of a 3-dimensional reality in one dimension

Il nous appartient de caractériser cette transformation. Il est pratique de regrouper en trois étapes les transformations de l'information, depuis la végétation passée jusqu'à l'interprétation paléo-écologique (Fig. 8) :

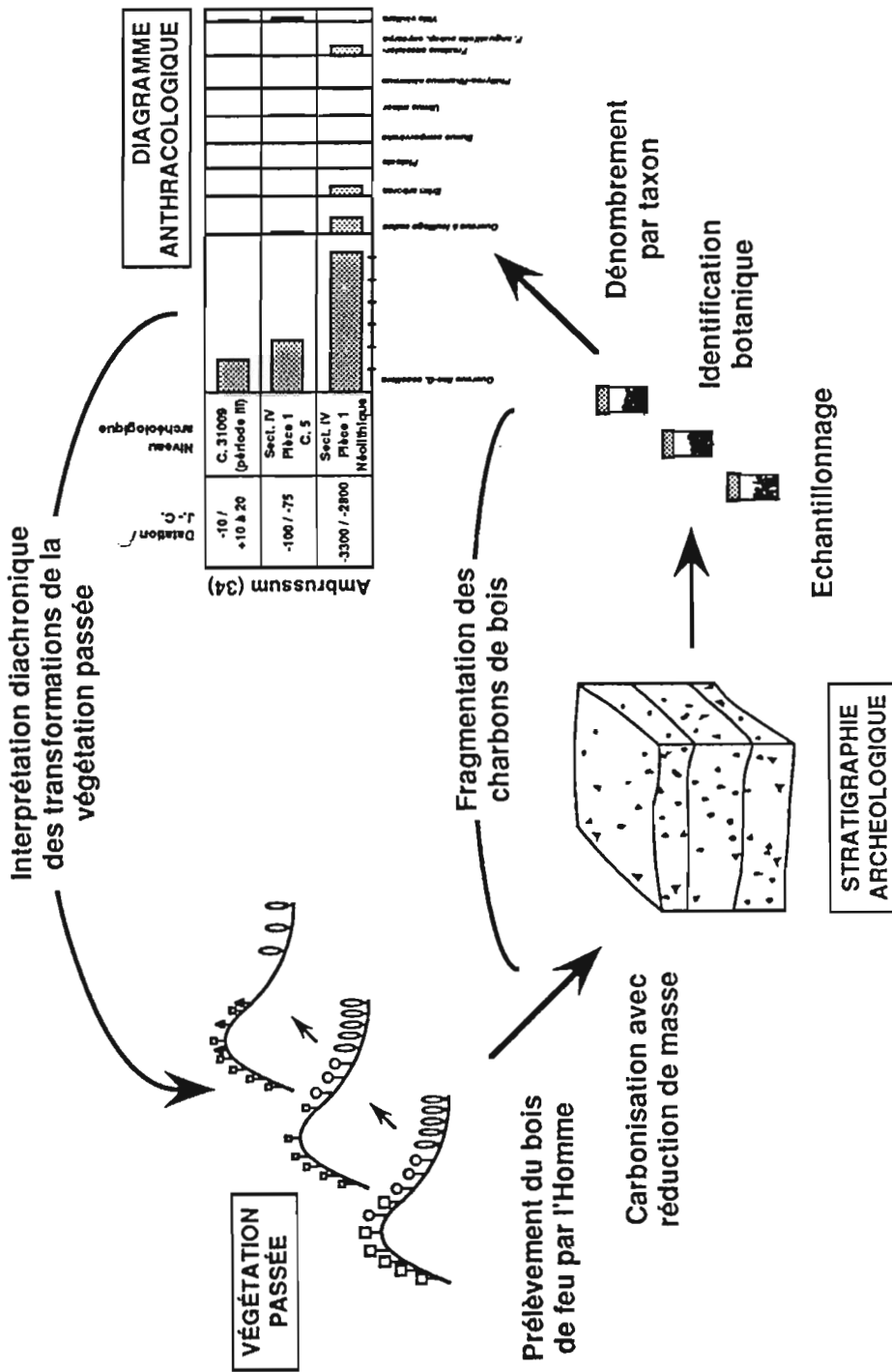


Fig. 8.- Les étapes de transformation de l'information en anthracologie
 Fig. 8.- Overview of process leading to an including charcoal analysis

1 - une étape dont on ne sait *a priori* rien, c'est-à-dire l'ensemble des pratiques humaines liées à l'exploitation du bois de feu dans l'environnement du site, et à son utilisation dans l'espace domestique,

2 - une étape que l'on peut analyser, par des mesures sur le matériel prélevé ou par des expérimentations sur l'actuel, à savoir : la réduction de masse lors de la carbonisation, et la fragmentation des charbons de bois,

3 - une étape que l'on peut contrôler, parce qu'elle concerne les méthodes de travail, à savoir l'échantillonnage dans le gisement archéologique, l'expression des fréquences des taxons, et l'interprétation paléo-écologique. L'identification des taxons, qui soulève des problèmes très particuliers, est ici volontairement laissée de côté.

Ces étapes sont étroitement liées entre elles, et ces liens seront appelés à être modélisés. Alors que la première étape ne peut être observée, les étapes analysables ou contrôlables ont un double intérêt :

- Elles permettent de garantir et d'optimiser la précision statistique des spectres anthracologiques, par rapport à l'univers statistique que constitue le gisement archéologique.

- Elles nous renseignent sur la signification des charbons de bois et sur la vraisemblance de l'hypothèse de représentativité paléo-écologique.

Comprendre l'approvisionnement en bois

Les pratiques humaines d'exploitation et d'usage du bois de feu constituent incontestablement l'étape la plus difficile à comprendre. Plusieurs approches sont possibles. Pour les périodes historiques, des textes peuvent compléter directement les informations anthracologiques (Durand, 1991). Pour les périodes plus anciennes, on peut tenter de se référer à des modèles ethnologiques ou historiques d'utilisation du combustible. Mais il faut bien admettre qu'on ne pourra jamais transposer avec certitude ces modèles à des périodes plus anciennes, tant les paramètres sont nombreux, et différents selon les sociétés que l'on prend comme référence.

Les considérations ethnologiques sont indispensables pour garder aux interprétations paléo-écologiques tout leur réalisme. Mais l'anthracologue, qui s'appuie sur de l'observé, doit privilégier l'interprétation des pratiques réelles d'exploitation du bois à partir d'informations anthracologiques. Si on travaille sur des quantités suffisantes de matériel, tous les recoupements d'observations, ainsi que les contradictions éventuelles entre sites ou dans un site, doivent être propres à éclairer les pratiques réelles d'exploitation du bois et le choix éventuel des surfaces boisées.

Le prélèvement quantitatif des espèces était-il basé sur les caractéristiques combustibles des espèces ? Le pouvoir calorifique (en quantité d'énergie émise par gramme de bois brûlé), caractéristique que l'on évoque implicitement lorsqu'on parle de combustibilité, varie peu entre les espèces, quelle que soit la densité du bois (entre 17 et 23 kJ.g⁻¹). Pour comparaison, il est de 29 à 33 kJ.g⁻¹ pour le charbon de bois. En revanche, la chaleur dégagée et le comportement au feu dépendent largement du calibre des tiges, de leur état vert ou mort, humide ou sec, refendu ou non, de la taille du feu, des interactions calorifiques entre espèces, etc.

Ainsi, un régime d'utilisation des espèces dans chaque foyer domestique a dû exister, de tous temps, en fonction des tâches quotidiennes : allumage, cuissons, fumage, rituels, etc., mais les caractéristiques combustibles des espèces n'étaient certainement pas seules en cause et le débitage, le séchage, le choix des calibres, la taille et la composition du feu, etc., qui déterminent pour partie le comportement au feu des espèces, nuancent les critères de ces choix, qui devaient tirer le meilleur parti du bois disponible. Par contre, d'après l'ensemble des arguments cités plus haut, l'approvisionnement en bois de feu domestique dans l'environnement d'un site semble avoir été soumis à des impératifs, liés à l'écologie des boisements davantage qu'à la nature des espèces.

Les facteurs physiques de déformation du spectre anthracologique : la fragmentation et la réduction de masse

- Deux processus simultanés

La fragmentation des charbons de bois est un processus dynamique, mais c'est aussi le résultat de ce processus, c'est-à-dire l'état de fragmentation des charbons de bois, observé à un moment donné. La réduction de masse est la différence entre la masse de bois mise au feu et la masse de charbon de bois retrouvée, due à une perte de matière (eau, gaz et cendres). La fragmentation et la réduction de masse des charbons de bois sont deux manifestations de la combustion mais aussi de la sédimentation et de la fouille. Les degrés de combustion, de fragmentation, ou de conservation des charbons de bois dépendent-ils de l'espèce et risquent-ils de fausser notre image de la végétation ?

Plusieurs auteurs se sont interrogés sur la réduction de masse et sur l'état de fragmentation et il apparaît que la question n'est pas évidente.

Zalucha (1982) a posé sur un plan théorique la question de la représentativité des charbons de bois par rapport au bois non brûlé : est-ce que deux espèces ligneuses, brûlées en proportions et en conditions rigoureusement égales, ne risquent pas de donner, "l'une quelques gros charbons de bois, l'autre des milliers de petits fragments" ? Nous verrons plus loin que cette observation est impossible dans les sédiments archéologiques. Mais surtout, Zalucha souligne ici seulement l'état de fragmentation, qui apparaît lors des dénombrements de fragments et conditionne le calcul des proportions entre espèces. Il oublie la réduction de masse, qui est pourtant sous-jacente et intervient simultanément.

Une expérience réalisée par Bazile-Robert montre l'importance de la réduction de masse. L'auteur effectue la combustion contrôlée de quantités égales de Buis, de Chêne pubescent et de Chêne vert, successivement et en conditions identiques. Dans cette expérience, le Buis donne beaucoup plus de fragments que les deux autres espèces. L'auteur estime alors que le Buis est le plus fragmenté des trois, et le Chêne pubescent serait "beaucoup moins fragmenté" (Bazile-Robert, 1982). Pourtant, le nombre total de fragments seul n'indique rien sur le degré de fragmentation et les mesures prouvent que le Buis donne des fragments en moyenne plus gros que ceux du Chêne pubescent. Il est alors plus juste de dire que le Buis est moins fragmenté que le Chêne pubescent. Si le Buis donne malgré tout un grand nombre de fragments, il est clair que c'est parce que sa réduction de masse est plus faible. Le Buis est ainsi, dans cette expérience, sur-représenté par rapport aux autres espèces dans les charbons de bois, en nombre de fragments et en masse totale.

• Une loi statistique de fragmentation

L'état de fragmentation qui nous intéresse est celui des charbons de bois prélevés dans les couches archéologiques. L'anthracologue est amené à se poser la question suivante : « Dire que le Chêne est deux fois plus abondant que l'Aulne dans un échantillon de charbons de bois a-t-il un sens au plan statistique ? ». Ce problème concerne le choix d'une unité statistiquement valable pour calculer les proportions entre espèces, hors toute question liée à la déformation de ces fréquences par rapport à la réalité que l'on cherche à représenter. C'est pourquoi il concerne la fragmentation seule.

Les rapports de quantités à l'intérieur d'un échantillon de charbons de bois peuvent être exprimés en masse relative (quel que soit le nombre de fragments), ou en nombre relatif de fragments (quelles que soient leurs tailles). Pour certains auteurs (Thinon 1979), les dénombrements de fragments poseraient une difficulté du seul fait des différences de taille entre fragments. Des observations confirmeraient cette difficulté :

- Krauss-Marguet (1981) montre que les pourcentages en dénombrement relatif ou en masse relative ne conduisent pas toujours aux mêmes fréquences anthracologiques.

- Willcox (1974) observe que le pourcentage de Chêne varie selon la taille des charbons de bois pris comme sous-échantillon, pour du matériel d'Anatolie orientale.

- Zalucha (1982) montre des variations semblables à partir de charbons du Mill Creek dans le nord-ouest de l'Iowa : les huit taxons, répartis en quatre fractions de taille (> 6,3 mm ; 6,3-3,3 mm ; 3,3-1 mm ; < 1 mm) y sont présents en quantités relatives différentes.

- Smart et Hoffmann (1988) concluent : « This implies that we must select a range of fragments sizes to obtain a representative charcoal assemblage ».

Pourtant, une analyse statistique de l'état de fragmentation des charbons de bois (obtenus par tamisage à la maille de 4 mm) révèle une loi statistique de fragmentation, avec un grand nombre de petits fragments et un petit nombre de gros fragments, pour tous les taxons d'un échantillon (Fig. 9) ; ceci est vérifié à de rares aléas près, correctibles (Chabal, 1982, 1989, 1990). C'est dire qu'il n'y a pas lieu de penser que l'observateur sélectionne certains taxons (en particulier d'après les caractéristiques physiques du bois) lorsqu'il sélectionne certaines tailles de charbons de bois, sauf dans le cas des très gros fragments : en effet, seuls les taxons très fréquents de la couche archéologique sont présents dans les plus gros fragments (Fig. 9). De fait, la répartition de chaque espèce, dans trois sous-échantillons triés selon la taille, est un peu plus constante dans les petits fragments que dans les gros, moyennant la correction des aléas de fragmentation (Fig. 10). Finalement, il n'existe pas de différence sensible de fragmentation liée à l'espèce dans un échantillon, et il est équivalent de dénombrer ou de peser les charbons de bois, moyennant la correction de rares aléas de fragmentation (Chabal, 1990).

Comment expliquer les différences de représentation des taxons dans les classes de taille, observées par d'autres auteurs (*supra*) ? On peut se demander si, dans ces exemples, la représentation différentielle des taxons selon la taille des fragments provient d'aléas de fragmentation ou, d'un autre point de

Niveau A (Lo Marduel -30)

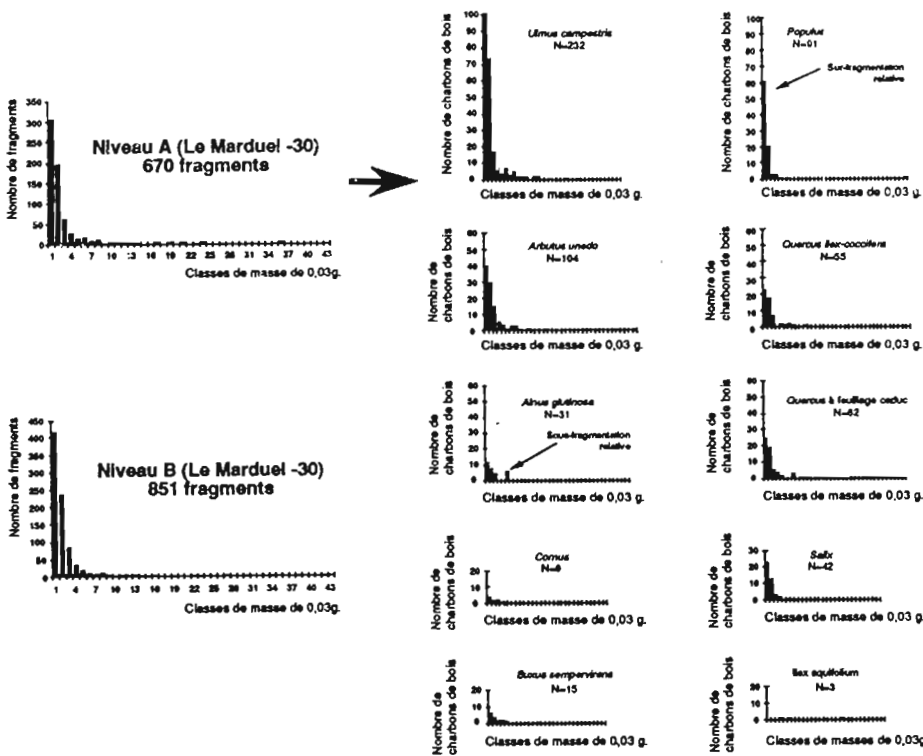


Fig. 9.- Mise en évidence d'une loi statistique de l'état de fragmentation des charbons de bois, identique pour deux couches archéologiques du site du Marduel, Gard, et pour chaque taxon d'une couche, à de rares aléas près (flèches), correctibles (d'après Chabal, 1982, 1990).

Fig. 9.- Statistical breakdown of charcoal fragments, identical for two archaeological strata of Marduel site (Gard), and identical for each taxon of a stratum (correctible for random values) (Chabal, 1982, 1990).

vue, d'un biais d'échantillonnage (avec un tri arbitraire de gros et de petits fragments), dans lequel la nature des espèces n'aurait aucune part.

On peut compter sur la fiabilité statistique des proportions entre taxons finalement exprimées si, dans un volume de sédiments, sont recueillis tous les charbons de bois de toutes les classes de masse (au-dessus d'une maille de tamisage définie) et si les aléas de fragmentation sont corrigés. Il ne faut pas privilégier les très gros fragments par rapport aux petits, beaucoup plus nombreux. Si un sous-échantillon doit être extrait d'un échantillon plus grand, la solution la plus sage est de maintenir les proportions entre petits et gros fragments, par un échantillonnage au hasard, ainsi que le préconise Willcox (1974).

• Deux phénomènes indépendants dans leur manifestation

Pour une masse totale de charbons de bois recueillie dans une couche archéologique, la loi de fragmentation détermine la quantité relative de petits

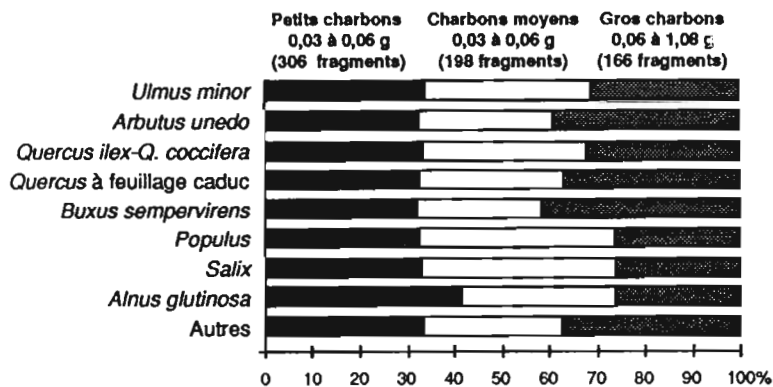
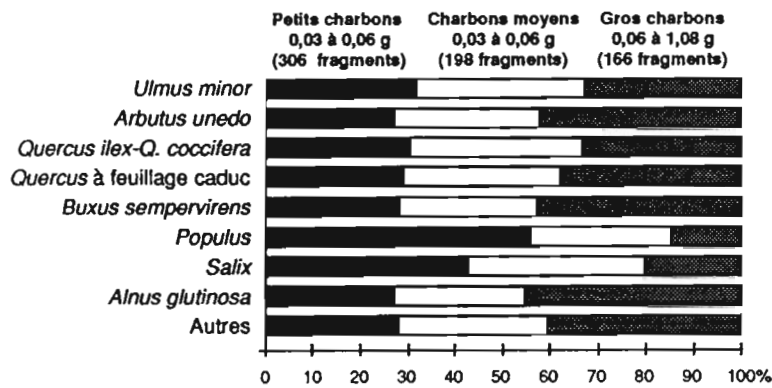


Fig. 10.- Répartition de chaque espèce dans trois classes de masses des fragments pour le déc. 21A, zone 1011, du Marduel, Gard : en haut, sans correction des aléas de fragmentation ; en bas, après correction des aléas de fragmentation .

Fig. 10.- Distribution of fragments for each species classified by 3 types of mass for stratum 23A, zone 1011, Marduel site, Gard : above, without correction for random values ; below, after correction for random values.

et de gros fragments : la masse totale de charbon de bois d'une espèce et le nombre de charbons de bois de chaque taxon sont corrélés. En revanche, l'état de fragmentation ne nous apprend rien sur la réduction de masse, pour chaque espèce. Une espèce A peut donner beaucoup plus de fragments qu'une espèce B dans deux situations, aussi probables l'une que l'autre :

- l'espèce A était aussi abondante que l'espèce B, mais elle a subi moins de réduction de masse (Fig. 11a),

- l'espèce A était plus abondante que l'espèce B, mais elle a subi plus de réduction de masse (Fig. 11b).

La réduction de masse et la fragmentation sont deux phénomènes simultanés, peut-être corrélés en tant que processus physiques, mais *a priori* indépendants dans leur résultat final. La réduction de masse peut alors être étudiée séparément. Pour calculer la réduction de masse, il est nécessaire de

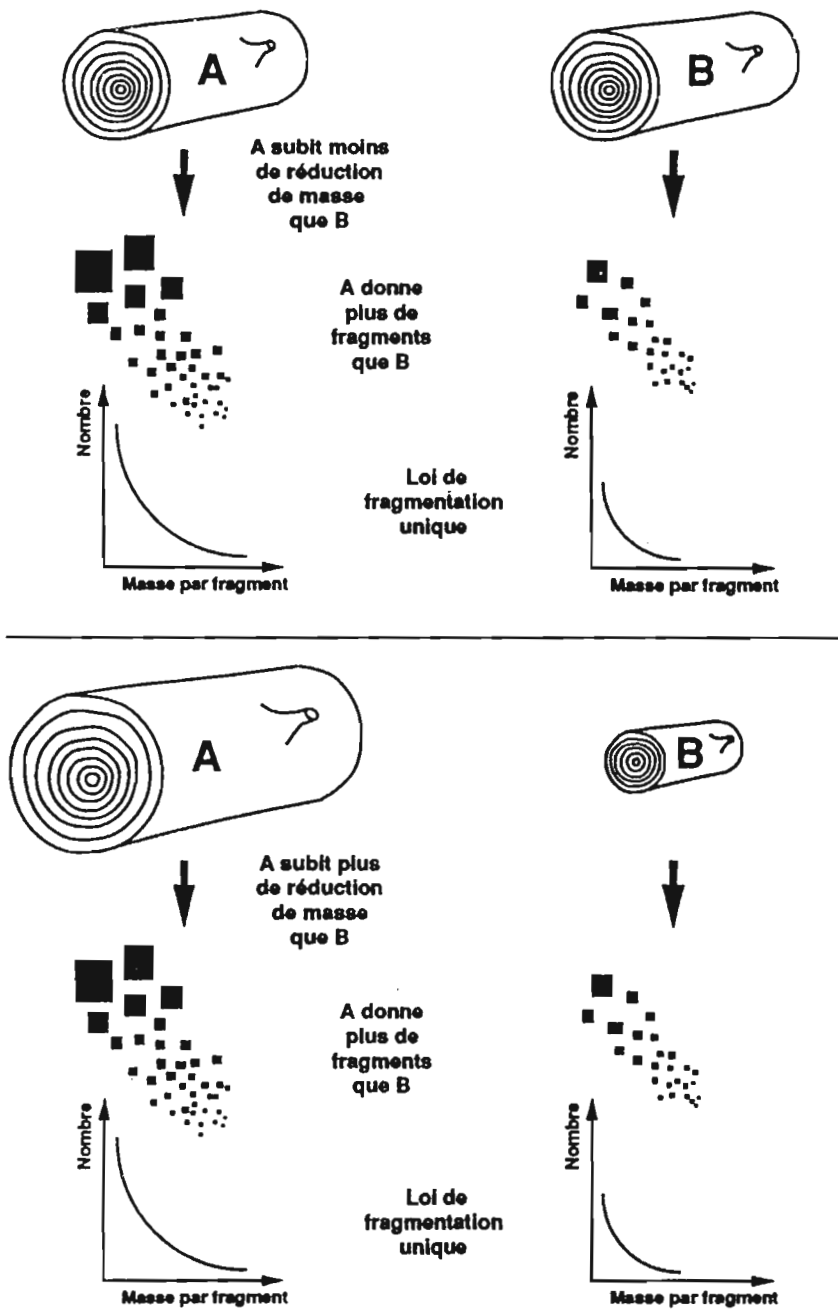


Fig. 11, a et b.- La fragmentation et la réduction de masse, deux processus simultanés et physiquement corrélés, mais indépendants dans leurs résultats : (a) l'espèce A donne plus de fragments que l'espèce B, pour une réduction de masse plus faible ; (b) l'espèce A donne plus de fragments que l'espèce B, pour une réduction de masse plus forte.

Fig. 11, a and b.- Fragmentation and mass reduction, two simultaneous processes, physically correlated, but providing independent results : (a) species A provides more fragments than species B, with less mass reduction ; (b) species A provides more fragments than species B, with a greater reduction in mass.

connaître la masse de bois mise au feu, ce qui n'est possible qu'à partir d'expérimentations sur l'actuel.

- La réduction de masse

L'anthracologue se pose la question suivante : "Si le Chêne est deux fois plus abondant que l'Aulne dans cet échantillon de charbons de bois, qu'en était-il des quantités de bois brûlées au départ ?" Autrement dit : la réduction de masse se produit-elle de façon reproductible, en liaison avec les caractéristiques physiques des espèces brûlées ?

Plusieurs auteurs ont effectué des combustions expérimentales pour déterminer la réduction de masse en fonction des espèces (Juneja, 1975 ; Rossen et Olson, 1985, etc.). Les expérimentations ne prennent en compte que la combustion, non la sédimentation et la fouille.

Tous les auteurs reconnaissent ou démontrent que la réduction de masse est largement fonction des conditions de combustion, à savoir : l'intensité du feu, sa durée, la teneur en oxygène (milieu réducteur ou oxydant), le taux d'humidité du bois et de l'air, le calibre des tiges, etc. C'est pourquoi les expérimentations sont toujours effectuées en contrôlant ces paramètres en laboratoire, et sur de petits volumes de bois calibrés. En conditions de combustion fixées, certains auteurs déterminent la réduction de masse, exprimée en pourcentage de la masse de départ. Le déterminisme n'en est pas évident : par exemple, l'expérience commune montre que les bois tendres s'enflamment plus vivement et brûlent plus vite que les bois denses, mais Rossen et Olsson (1985) observent que la densité du bois n'est pas un bon indicateur des résultats de la carbonisation (réduction de masse et réduction de volume).

Surtout, en l'état actuel, ces mesures ne déterminent pas de façon univoque si la réduction de masse est, ou non, fonction de l'espèce. En effet, les résultats varient avec l'auteur et avec les conditions de combustion. Il paraît difficile de fixer plus rigoureusement les conditions d'expérience que l'ont fait les auteurs cités. Il semblerait ainsi que la réduction de masse est davantage déterminée par les conditions d'expérience que par les caractéristiques physiques des espèces. Pour les foyers domestiques, où les conditions de combustion varient dans le temps, on peut se demander s'il existe en moyenne une réduction de masse statistiquement corrélée à l'espèce et si des expérimentations sur la réduction de masse seraient possibles.

- Conclusion

L'état de fragmentation, observé sur le matériel archéologique, est indépendant du taxon ; en conséquence, les fréquences relatives des taxons peuvent être estimées par des pesées aussi bien que par des dénombrements, à deux conditions :

- Il faut respecter un plan d'échantillonnage rigoureux des charbons de bois dispersés issus du bois de feu domestique et pratiquer un tamisage des sédiments selon une maille de tamis fixée (par exemple 4 mm), avec récupération exhaustive de toutes les classes de taille des fragments. Si l'échantillon est trop grand, on le subdivise par un échantillonnage au hasard en n'intervenant pas sur les proportions entre petits et gros fragments.

- Des aléas de fragmentation existent et peuvent être corrigés par une étude de l'état de fragmentation des espèces.

La réduction de masse, non observable sur le matériel archéologique, déforme les proportions entre taxons dans les charbons de bois par rapport à leurs proportions dans le bois utilisé pour le feu, hors toute question relative à la mesure de ces proportions. Elle peut être étudiée par des expérimentations sur du bois actuel. En l'état actuel, les expérimentations réalisées montrent que la réduction de masse est principalement fonction des conditions de combustion.

L'INTERPRÉTATION DES DIAGRAMMES ANTHRACOLOGIQUES

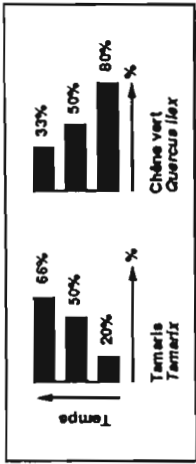
L'interprétation paléo-écologique de l'environnement d'un site à partir du spectre anthracologique, image transformée de la végétation (voir *supra*), doit prendre en compte un certain nombre de difficultés.

Comprendre le spectre anthracologique

Pour traduire les proportions entre espèces dans les charbons de bois en proportions dans l'aire d'exploitation du bois, on ne dispose pas de modèles actuels transposables au passé, comme en palynologie. On pourrait alors penser que la biomasse est une bonne unité de référence. Cependant, un même pourcentage dans les charbons de bois risque, selon l'espèce, de représenter des biomasses de végétation vivante différentes. En effet, chaque espèce a sa propre productivité en bois, peut-être sa propre réduction de masse au feu, etc. Bien sûr, des coefficients correcteurs fonction des espèces pourraient théoriquement ramener tous les pourcentages des espèces dans les charbons de bois à des biomasses relatives réelles dans la végétation. Mais, d'une part, des proportions entre espèces ligneuses exprimées en biomasses relatives ne seraient guère plus représentables visuellement que les pourcentages anthracologiques "bruts". Mais surtout, elles ne seraient pas plus "exactes", parce que la biomasse ne suffit pas à rendre compte de la structure de la végétation, qui conditionne l'exploitation du bois. Par exemple, une fûtaie produit plus de bois mort, mais un taillis est plus facile à exploiter pour le bois vert. A biomasse vivante de départ égale, la fûtaie et le taillis de Chênes vont très certainement livrer un pourcentage de Chêne différent dans le bois de feu. Réciproquement, il n'y a aucune raison de penser qu'un pourcentage de Chêne dans un spectre anthracologique représente toujours la même proportion de végétation vivante d'origine (c'est la proportion de bois prélevé qui est la même). Suivant que l'on a affaire à l'une ou l'autre de ces structures de boisement - sans que nous sachions *a priori* laquelle - un même pourcentage représente ainsi des proportions différentes de végétation. Le pourcentage d'une espèce dans les charbons de bois est alors une unité complexe, synthétique, irréductible à des quantités simples comme la biomasse relative ou le recouvrement relatif, et qu'il ne faut pas forcément essayer de décoder.

Comprendre le diagramme anthracologique

Le diagramme anthracologique, succession de spectres, est la représentation d'une évolution dynamique, fonctionnelle, de la végétation passée.



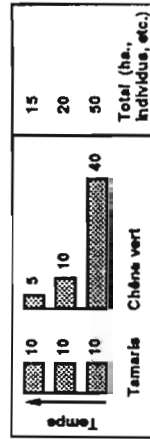
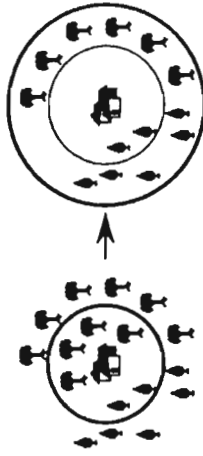
EVOLUTIONS RELATIVES LUES DANS UN DIAGRAMME

La signification des pourcentages :

Exemple :
 - le Tamaris (♣) est constant,
 - le Chêne vert (☐) régresse vite,
 (en biomasse, en recouvrement, ou en nombre d'individus...).

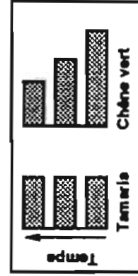
L'aire de prélèvement du bois :

Exemple :
 - le Tamaris (♣) est constant,
 - le Chêne vert (☐) est détruit à proximité du site, mais non au-delà,
 - l'aire de prélèvement du bois de feu est croissante (trait gras).



EVOLUTIONS ABSOLUES DES ESPECES

Les variations *absolues* des espèces dans la végétation passée ne sont pas obligatoirement les mêmes que leurs variations *relatives*, seules lues dans le diagramme.



EVOLUTION ABSOLUE REELLE DES ESPECES DANS L'ENVIRONNEMENT DU SITE

L'aire d'approvisionnement en bois a pu varier au cours du temps et doit être interprétée tout autant que l'évolution absolue des espèces.

L'étude d'une séquence chronologique de prélèvements permet de n'étudier que des variations temporelles, significatives en termes d'évolution régressive ou progressive de la végétation, de récession ou de régénération forestière. Toute modification du milieu se traduit par une réponse précise. L'interprétation procède par comparaison avec la végétation spontanée actuelle, sa dynamique propre, sa réponse à des facteurs tels le feu ou le sur-pâturage. Par exemple l'incendie favorise l'Arbousier, les Bruyères ou les Cistes dans la chênaie, l'abondance des Genévriers témoigne de l'ouverture des boisements, etc.

• La signification des pourcentages

En premier lieu, il ne faut pas interpréter les variations relatives lues dans le diagramme comme s'il s'agissait de variations absolues dans la végétation (Fig. 12). Pour une variation relative, il y a cinq cas possibles de variations absolues (Fig. 13), avec tous les intermédiaires. Tous ces cas ne sont pas également probables au plan de l'écologie. Il est possible d'argumenter à chaque fois le choix de l'une ou l'autre de ces interprétations.

Le risque que les variations absolues de deux espèces soient très différentes des variations relatives observées est particulièrement grand si, à un moment donné, leurs devenirs ont été indépendants (espèces de biotopes différents, espèces exploitées par l'homme...) et en particulier si les espaces déboisés sont abondants. Par exemple, la destruction brutale d'une chênaie par un incendie fera apparaître, sur un diagramme, la récession des Chênes et une représentation relative brutalement plus forte d'autres espèces, qui ne se sont pas forcément étendues dans l'environnement.

Pour interpréter correctement la variation relative d'une espèce dans le diagramme, en termes de variation absolue, l'anthracologue travaille sur la recherche de "marqueurs écologiques". Ces espèces signalent par leurs variations relatives l'évolution progressive ou régressive de la végétation forestière, du fait de leurs exigences écologiques particulières (telles les espèces inféodées à un faciès de végétation, et spécialement aux formations dégradées de la végétation méditerranéenne). L'interprétation doit tenir compte de l'ensemble du diagramme et des autres informations disponibles.

• L'aire de prélèvement du bois

L'hypothèse que les espèces étaient exploitées au prorata de leur abondance relative aux environs d'un site n'empêche pas que l'aire d'approvisionnement ait pu varier, par exemple s'agrandir si des défrichements ont raréfié les boisements proches du site. L'augmentation relative d'une espèce dans un diagramme peut alors signifier la conquête de nouveaux milieux d'exploitation, sans rien indiquer sur l'extension ou la régression de cette espèce (Fig. 12).

On ne connaît pas *a priori* le rayon d'approvisionnement en bois autour de chaque site, c'est-à-dire la surface de la végétation perçue. Cette question doit être interprétée cas par cas, puisqu'elle dépend du taux de boisement autour du site (plus le bois est rare, plus il est prélevé loin) donc des activités humaines, mais aussi, sans doute, de l'économie du bois qui dépend de

Fig. 12.- Deux difficultés d'interprétation paléo-écologique des diagrammes en anthracologie
 Fig. 12.- Charcoal analysis : two problems in the palaeoecological interpretation of diagrams

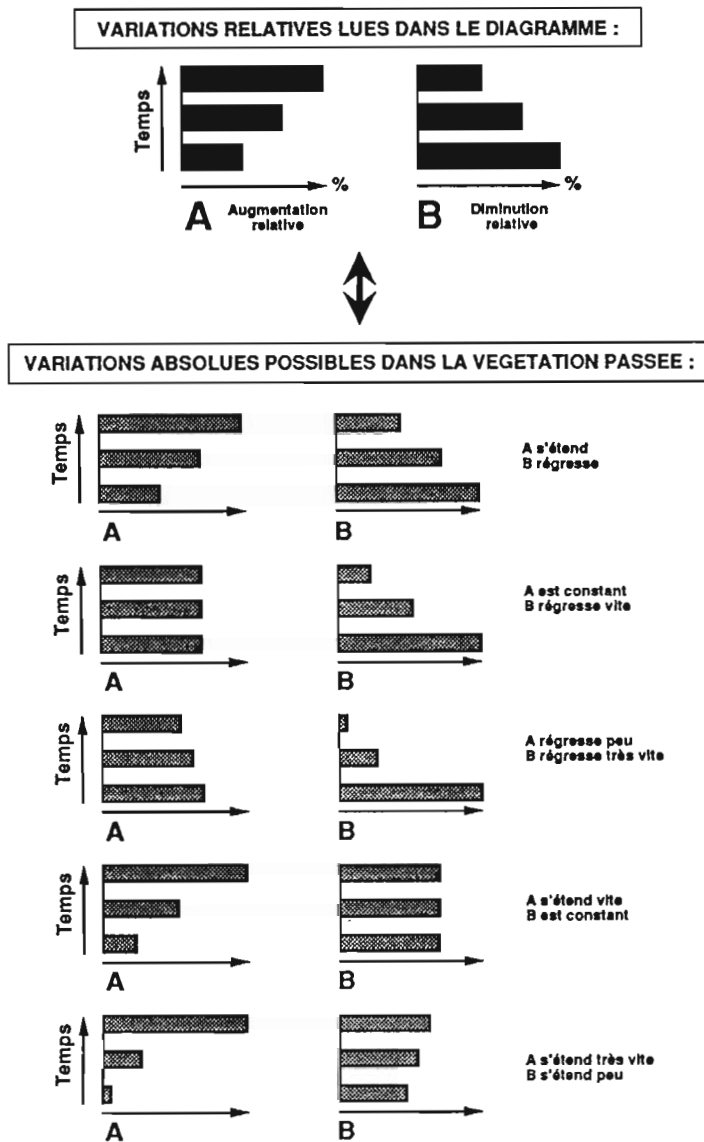


Fig. 13.- Rapports entre les variations relatives des taxons dans les charbons de bois, et leurs variations absolues dans la végétation passée.

Fig. 13.- Relationship between relative variations of taxa in charcoal, and their absolute variations in past vegetation.

la facilité d'approvisionnement (plus le bois est rare, moins il est gaspillé). Notons que le problème du rayon de perception est tout aussi crucial en palynologie, puisqu'il dépend aussi de la densité des boisements.

La difficulté est de faire le départ entre une formation végétale qui s'étend (ou régresse) et une aire d'approvisionnement qui s'étend (ou décroît).

Pour interpréter l'étendue de l'aire perçue, les variations relatives des espèces sont essentielles. On peut par exemple enregistrer la végétation des collines où est implanté le site, puis celle de plaines alluviales, avec une intensification des activités humaines que d'autres indices archéologiques ou paléo-écologiques attestent. En anthracologie, l'interprétation d'un diagramme permet souvent d'avancer des hypothèses sur l'étendue relative, en fonction du temps, de la surface exploitée pour le bois de feu domestique, plutôt que sur son étendue réelle, absolue, d'autant plus que l'aire de prélèvement du bois était probablement une aire "modulée", avec des zones plus ou moins visitées ou plus ou moins intensivement exploitées.

La plupart du temps, la cohérence des interprétations paléo-écologiques permet de considérer l'aire d'approvisionnement en bois comme un rayon d'action plus ou moins grand, plutôt que comme un territoire complexe et changeant. A partir de la période romaine, des impératifs territoriaux ont pu compliquer ce schéma mais les résultats dans le sud de la France, jusqu'à présent, ne permettent pas de le dire (Chabal, 1991).

BIBLIOGRAPHIE

- BATS M., J.-C. BESSAC, L. CHABAL, C.-A. de CHAZELLES, J.-L. FICHES, P. POUPET et M. PY, 1986.- Enregistrer la fouille archéologique : le système élaboré pour le site de Lattes, Hérault. A.R.A.L.O. Ed. série Lattes, Cavelrac, 56 p.
- BAZILE-ROBERT E., 1982.- Données expérimentales pour l'anthraanalyse. *Etudes Quaternaires Languedociennes*, 2.
- CHABAL L., 1982.- Méthodes de prélèvement des bois carbonisés protohistoriques pour l'étude des relations homme-végétation. D.E.A. Montpellier II, 54 p.
- CHABAL L., 1988.- Pourquoi et comment prélever les charbons de bois pour la période antique: les méthodes utilisées sur le site de Lattes (Hérault). *Lattara*, 1, A.R.A.L.O. Ed. Lattes, 187-222.
- CHABAL L., 1989.- Perspectives anthracologiques sur le site de Lattes (Hérault). *Lattara*, 2, A.R.A.L.O. Ed. Lattes, 53-72.
- CHABAL L., 1990.- L'étude paléo-écologique de sites protohistoriques à partir des charbons de bois : la question de l'unité de mesure. Dénombrement de fragments ou pesées ? In : Wood and Archaeology. Bois et archéologie. First European Conference, Louvain-la-Neuve, October 2nd-3rd 1987. *PACT*, 22. T. Hackens, A.V. Munaut et Cl. Till (éd), Belgique, 189-205.
- CHABAL L., 1991.- L'Homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des âges des métaux à la période romaine : recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du Bas-Languedoc. *Thèse de doctorat*, Montpellier II, 435 p.
- DURAND A., 1991.- Paysages, terroirs et peuplement dans les campagnes du Bas-Languedoc (Xe-XIIIe siècle). *Thèse de Doctorat*, Paris I, 518 p.
- FANCELLI GALLETTI, 1972.- I carboni della grotta delle arene candide e l'evoluzione forestale in Liguria dopo l'ultima glaciazione. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat.*, Série A, 79, 206-212.
- FICHES J.-L. (dir.), 1989.- L'oppidum d'Ambrussum et son territoire : fouilles au quartier du Sablas (Villetelle, Hérault) : 1979-1985. *Collection des monographies du C.R.A.*, 2, C.N.R.S. (éd.), Paris, 286 p.
- GODRON M., P. DAGET, J. POISSONET et P. POISSONET, 1971.- Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal (France). In : International Symposium on Statistical Ecology, August 1969, Yale, Connecticut, USA, *Statistical Ecology*, 3, 397-415.
- JUNEJA S.C., 1975.- Combustion of cellulosic materials and its retardance - status and trends. Part 1 : Ignition, combustion processes and synergism. *Wood Science*, 7 (3), 201-208.
- KRAUSS-MARGUET I., 1981.- Analyse anthracologique du gisement postglaciaire de la Poujade (Millau, Aveyron). *Paléobiologie continentale*, XII (1), Montpellier, 93-110.
- LEROYER C. et C. HEINZ, 1992.- Complémentarité des études palynologiques et anthracologiques : les exemples pyrénéens de la Balma Margineda (Andorre) et de Belestia (Pyrénées-Orientales, France). *Bull. de la Soc. Bot. de France*, 139 (2/3/4), 281-295.
- POISSONET P., J. POISSONET, M. GODRON et G. LONG, 1973.- A comparison of sampling methods in dense herbaceous pasture. *J. Range Management*, 26 (1), 65-67.

- PY M. (dir.), 1992.- Recherches sur l'économie vivrière des Lattaresns (IV^e s. av. n. è.- I^{er} s. de n. è.). *Lattara*, 5, A.R.A.L.O. éd. Lattes, 343 p.
- ROSSEN J. & J. OLSON, 1985.- The controlled Carbonization and Archaeological Analysis of SE U.S. Wood Charcoals. *J. Field Archaeology*, 12 (4), 445-456.
- SMART T.L. et E.S. HOFFMAN, 1988.- Environmental interpretation of archaeological charcoal. In : Current Paleoethnobotany, Analytical Methods and Cultural Interpretations of Archaeological Plant remains, Hastorf et Popper, *Prehistoric Archeology and Ecology Series*, Chicago, 167-205.
- THIEBAULT S., 1983.- L'homme et le milieu végétal à la fin du Tardiglaciaire et au Postglaciaire, analyses anthracologiques de six gisements des préalpes sud-occidentales. *Thèse 3^e cycle*, Paris I, 215 p., 5 pl.
- THINON M., 1979.- Incidence écologique des reboisements du Mont Ventoux (Vaucluse). Aspects floristiques et pédologiques. *Thèse 3^e cycle*, Univ. Aix-Marseille, 117 p.
- VERNET J.-L. 1972.- Nouvelle contribution à l'histoire de la végétation holocène des Grands Causses d'après les charbons de bois. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 119, 169-184.
- VERNET J.-L. 1973.- Etude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire d'après les charbons de bois principalement. *Paléobiologie Continentale*, 4, 1.
- WILLCOX G.H., 1974.- A history of deforestation as indicated by charcoal analysis of four sites in eastern Anatolia. *Anatolian Studies*, 24, 117-133.
- ZALUCHA L.A., 1982.- Methodology in peoethnobotany : a study in vegetational reconstruction dealing with the Mill Creek culture of northwestern Iowa. Ph.D.diss. Univ. Wisconsin-Madison. Ann Arbor, 366 p.