

FEUILLES OU FUMIERS? OBSERVATIONS SUR LE RÔLE DES POUSSIÈRES SPHÉROLITIQUES DANS L'INTERPRÉTATION DES DÉPÔTS ARCHÉOLOGIQUES HOLOCÈNES*

Jacques E. BROCHIER**

Résumé

L'étude détaillée des caractères morphologiques et minéralogiques des oxalates de calcium des feuilles des angiospermes ligneuses et des sphérolites calcitiques produits par les petits ruminants permet de reconsidérer l'existence du nourrissage des ovi-caprins par des fourrages de feuille au Néolithique. Bien que clairement démontrée dans les sites de milieu humide, cette pratique n'a pu à ce jour être mise en évidence dans les sites de milieu sec.

Summary

Leaves or manure? Observations on the meaning of spherulitic silts in the interpretation of Holocene archaeological deposits.

The detailed study of morphological and mineralogical properties of ligneous angiosperm leaf calcium oxalate crystals and of calcitic spherulites produced by small ruminants allows us to reconsider the existence of Neolithic leaf-foddering. Although clearly documented in waterlogged sites, no proof of this practice has been recovered to date from Mediterranean dry sites.

Mots clés

Oxalates de calcium végétaux, Calcite sphérolitique, Phytolithaire, Élevage, Néolithique, Fourrage de feuille.

Key Words

Geoarchaeology, Leaf-foddering, Calcium oxalate, Calcite spherulite, Phytolith, Neolithic period, Pastoralism.

... Quand ils l'ont bien poli, j'en viens tailler la pointe; je la mets à durcir dans le feu que j'active; je cache enfin ce pieu au profond du fumier, dont l'épaisse litière recouvrait tout le sol de la grande caverne.

Homère, *Odyssée IX*

Les années 80-90 ont été marquées par le profond renouvellement de nos conceptions sur la genèse des dépôts archéologiques holocènes de grotte et d'abri sous roche. Nous avons insisté sur le rôle majeur de l'homme, à travers ses activités agro-pastorales, dans la sédimentogénèse (Brochier, 1983b). Cendre de bois et excréments d'herbivores domestiques apparurent alors être les constituants essentiels, parfois uniques, des stratigraphies. La démonstration de l'utilisation de très nombreuses cavités de

la frange nord de la Méditerranée à des fins strictement pastorales, aussi bien par les études archéozoologiques (Helmer 1979, 1984) que géoarchéologiques (Brochier, 1983a et b, 1987; Argant *et al.*, 1991) est à l'origine du renouveau de nos conceptions sur la gestion des terroirs néolithiques. Une certaine complémentarité entre les sites agro-pastoraux de plaine et les sites strictement pastoraux des pays de collines et de montagne a été proposée (Beeching et Moulin, 1983; Brochier, 1991).

*Cet article est issu d'une communication présentée à la Table-Ronde sur L'élevage en Gaule, organisée à Saint-Martin-de-Crau (Bouches-du-Rhône) par A. Ferdière, M. Leguilloux et S. Lepetz, le 21 avril 1995.

**UMR 9948, Laboratoire de Paléontologie Humaine et de Préhistoire, Faculté des Sciences, Centre Saint Charles, 13331 Marseille cedex 3, France.

Récemment, quelques géoarchéologues (Macphail *et al.*, 1990; Wattez *et al.*, 1990; Courty *et al.*, 1991) ont cru pouvoir démontrer la pratique de la stabulation (méthode d'élevage et d'entretien du bétail, qui consiste à garder d'une façon continue les animaux à l'étable, et s'oppose donc à la méthode du pâturage) en estimant reconnaître dans les sédiments les oxalates de calcium spécifiques des feuillus dicotylédones, preuve d'un nourrissage à base de fourrage d'arbre. Sans nier l'existence possible, et même probable, de telles pratiques suggérées par l'analyse anthracologique (Thiébaud, 1988; Argant *et al.*, 1991) et démontrées par les remarquables travaux de Rasmussen (1989) en milieu humide, nous voudrions simplement faire quelques remarques méthodologiques sur l'utilisation des oxalates de calcium dans la pratique géoarchéologique.

Les oxalates de calcium chez les végétaux supérieurs

Nous ne détaillerons pas ici le problème des oxalates du bois et de leur devenir dans les sédiments archéologiques. Nous avons déjà publié nos conclusions à ce sujet (Brochier, 1983a). On trouvera des interprétations très différentes des nôtres, souvent en totale contradiction, dans les travaux de Wattez *et al.*, 1987 ou Wattez, 1992 par exemple. Nous nous attacherons seulement ici au problème des feuilles des angiospermes ligneuses européennes.

Nous avons préparé nos échantillons d'oxalate de feuille par une des techniques classiques d'extraction des phytolithaires (siliceux, oxaliques ou carbonatés) : la digestion de la matière organique par l'hypochlorite de sodium. D'autres préparations de feuilles ont été obtenues par incinération en atmosphère oxydante à 500 °C. On sait en effet que la transformation par la chaleur de l'oxalate de calcium en carbonate de calcium n'altère pas la forme originelle du cristal. C'est d'ailleurs pour cette raison que la détermination spécifique de quelques ligneux à partir de leurs cendres est possible (Brochier, 1983b et 1990). L'observation des oxalates ou des pseudomorphoses des cristaux d'oxalate en calcite se fait ensuite au microscope polarisant à fort grossissement (400 à 1 000). Un complément d'information a été obtenu par diffraction des rayons X.

Compte-tenu des observations publiées (Wattez, 1992), et semble-t-il admises par de nombreux chercheurs (Courty *et al.*, 1989; Macphail *et al.*, 1990), nous avons fait porter nos analyses sur des feuilles de chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) et de chêne vert (*Quercus ilex* L.). Ces deux espèces, très utilisées comme combustible au Néolithique dans le sud de la France (Vernet et Thiébaud, 1987) et jusqu'à une période récente comme fourrage (Durand-Tullou, 1972), sont censées contenir dans leurs

feuilles, en plus ou moins grande abondance, des oxalates de calcium sphérolitiques.

Les échantillons étudiés ont été récoltés à la mi-août dans les environs de Rognes (Bouches-du-Rhône). Nous y avons ajouté un échantillon de feuille de hêtre (*Fagus sylvatica* L.), également récolté au mois d'août, provenant de la forêt du Lac de l'Éuf (Haute-Loire), puisque cette espèce est jusqu'à présent la seule de notre collection de référence à contenir en abondance des cristallisations sphérolitiques.

Misent à part les formes prismatiques et les macles simples, en tout point identiques à celles que l'on peut observer dans les bois (au sens large, écorce comprise), les feuilles se singularisent par la présence commune de druses -oursins des botanistes- (Pobeguïn, 1943; Metcalfe et Chalk, 1957). Elles sont fréquentes chez le chêne pubescent et le chêne vert (respectivement 60 et 56 % des oxalates), plus rares chez le hêtre (16 %). Les diamètres les plus fréquemment observés sont compris entre 10 et 15 µm (fig. 1). Quelques exemplaires particulièrement gros peuvent atteindre 22 µm. L'ensemble des formes rencontrées dans les feuilles d'une espèce donnée ne permet cependant pas d'affirmer, au seul examen des oxalates de calcium, qu'il s'agit bien d'une feuille d'une angiosperme ligneuse. Les branches ou les herbacées fournissent souvent des spectres identiques. Au niveau le plus général, on remarque seulement que la présence de druses, quel qu'en soit le type, est effective dans les trois-quarts des cas (estimation sur un échantillon d'une trentaine d'angiospermes ligneuses); proportion bien supérieure à celle que l'on observe dans les bois.

Les druses, dans un même échantillon de feuille, peuvent avoir des morphologies bien différentes. On observe en effet tous les termes de passage entre la druse formée d'un petit nombre de cristaux dont les extrémités aiguës sont fortement proéminentes à celle formée d'un grand nombre de cristaux plus fins, rayonnants, aux pointes débordant peu de la sphère. Ces druses les plus fines, aux cristaux mieux organisés, laissent parfois apparaître entre nicols croisés la croix noire caractéristique des structures rayonnantes. Enfin, terme ultime de cette progression, certains oxalates finement cristallisés, *toujours parfaitement sphériques*, au contour net, très rares, peuvent être qualifiés de sphérolitiques. Leur diamètre, semble-t-il constant, oscille entre 6 et 7 µm. Ces formes sont cependant beaucoup trop rares pour être affirmatif sur ce dernier point. Jusqu'aux plus forts grossissements, la seule structure visible est une *structure finement fibreuse rayonnante*. Aucune trace de cernes concentriques n'est jamais visible. Nous avons rencontré cette forme très peu commune seulement à quelques exemplaires dans les feuilles de *Quercus ilex* L. et de *Fagus sylvatica* L.

La transformation de ces oxalates de calcium en carbonate de calcium sous l'effet de la chaleur ne change pas leur morphologie (Brochier, 1983b). Elle semble par contre favoriser l'orientation des axes optiques des cristallites de carbonates de calcium constituant les pseudomorphoses de druse puisque celles-ci montrent parfois une croix noire nette. Ce phénomène est particulièrement visible, quoique peu fréquent, chez *Q. pubescens* et *F. sylvatica*.

Enfin, il est utile de remarquer que la digestion de la matière organique des feuilles de *Q. pubescens*, *Q. ilex* et de *F. sylvatica* livre en plus ou moins grande abondance, en plus des oxalates de calcium, des trachéides silicifiées (fig. 2). Cette forme de phytolithaire banale dans les feuilles des angiospermes ligneuses (Geis, 1973) se rencontre également dans les feuilles de nombreuses dicotylédones herbacées. Elle devrait se retrouver en abondance, en cas d'accumulation de feuilles de ces espèces, dans les dépôts fossiles.

Sous le microscope polarisant, les extraits minéraux de feuille apparaissent formés d'un mélange de deux oxalates de calcium : l'oxalate monohydraté, monoclinique, fortement biréfringent, et l'oxalate dihydraté tétragonal à biréfringence et relief faible. Quantitativement, aussi bien dans les feuilles de *Q. pubescens* que de *Q. ilex*, l'oxalate monohydraté (celui qui forme les druses) est très largement dominant. L'analyse par diffraction des rayons X de ces extraits de feuille ne met pas en évidence d'autres formes oxaliques (oxalates de potassium ou de sodium) et confirme les observations qualitatives et quantitatives exposées plus haut. Elle ne met pas non plus en évidence de carbonates.

La conservation des oxalates végétaux dans les sols, aussi bien que dans les sédiments archéologiques de grotte et d'abris sous roche, est très réduite. Ainsi, les feuilles d'une litière de chêne enfouie sous quelques décimètres de terre pendant 10 ans dans le Petit Luberon (Vaucluse) ne contiennent plus que quelques cristaux très dégradés. Dans

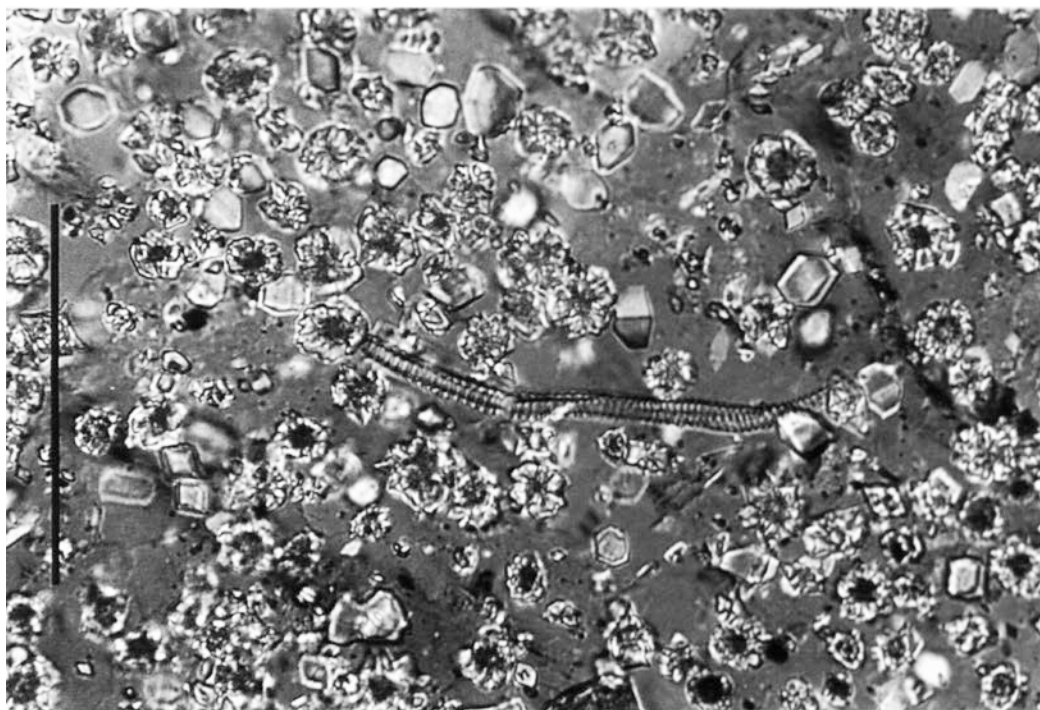


Fig. 1 : Résidu minéral obtenu après digestion de la matière organique d'une feuille de *Quercus pubescens* Willd. On notera la grande abondance des druses accompagnées de cristaux prismatiques simples ou maclés. Les trachéides silicifiées sont abondantes chez cette espèce. Contraste interférentiel en transmission. Échelle 100 µm.



Fig. 2 : Trachéide siliciifiée d'une feuille de *Quercus pubescens* Willd. Contraste interférentiel en transmission. Échelle 100 μm .

les sédiments archéologiques holocènes de grotte, la rareté des cristaux d'oxalates libres incontestablement végétaux (prismes divers, druses ou raphides) est telle que l'on ne peut que suspecter une contamination récente. Dans quelques cas *exceptionnels*, nous avons cependant identifié d'indubitables cristaux d'oxalate de calcium encore en place à l'intérieur des cellules cristallifères de restes végétaux peu brûlés (Âge du Bronze de la grotte de Belesta par exemple). Leur conservation est sans doute liée à l'effet protecteur des parois cellulaires. Le cas le plus général, que nous avons observé dans de nombreuses stratigraphies actuelles à sub-actuelles, est cependant la disparition rapide, au-delà des premiers centimètres des profils, des oxalates de calcium végétaux (Brochier *et al.*, 1992). Ce n'est que grâce aux combustions que l'on observe, dans ces sites, leurs substituts carbonatés (pseudomorphoses d'oxalate de calcium en calcite micro-cristalline et non, comme souvent signalé, pseudomorphoses de cellules végétales).

Il semble donc que les oxalates sphérolitiques de feuilles signalés dans la littérature (Wattez, 1992; Courty *et al.*, 1989) ne soient pas, en règle générale, des sphérolites oxaliques mais des druses ou plutôt, compte-tenu de la technique utilisée (l'analyse de cendres) des pseudomorphoses de druses oxaliques en carbonate de calcium.

D'autre part, les formes sphérolitiques observées par de nombreux chercheurs, aussi bien dans des excréments d'herbivores actuels que fossiles, et interprétées comme des oxalates végétaux de feuille (druses), semblent bien avoir une nature minéralogique et une origine très différente.

Les sphérolites produits par les petits ruminants

Les crottes de quelques ruminants sauvages et domestiques (tab. 1) contiennent en abondance de petits sphérolites dont la taille est comprise entre quelques μm et une vingtaine de μm ⁽¹⁾. Le mode de la distribution des

⁽¹⁾ La présence de calcite sphérolitique dans les fèces de carnivores est, pour l'instant, exceptionnelle. Elle est signalée par Horwitz et Goldberg (1989) chez la hyène rayée (*Hyaena hyaena*).

diamètres se situe aux environs de 10 μm (Brochier, 1983b). Nous avons déjà montré, chez le mouton, que ces cristallisations sont absentes des quatre poches stomacales et qu'elles n'apparaissent que dans les premiers centimètres de l'intestin grêle (Brochier *et al.*, 1992). *Cette simple observation suffit à établir que ces sphérolites ne proviennent pas de la nourriture de ces animaux.*

La morphologie de ces sphérolites est très différente de celle de leurs homologues végétaux : les cristallites, en organisation radiée très lacunaire, forment une masse ovoïde issue de la *coalescence de deux hémisphères*. À un fort grossissement, on peut distinguer une vague structure concentrique qui est toujours absente des sphérolites oxaliques des feuilles. Ces caractères ne sont pas sans rappeler ceux des corpuscules carbonatés sphéroïdaux fibroradiés d'origine bactérienne signalés par Castanier *et al.* (1989) ou par Buczynski et Chafetz (1991) par exemple. La morphologie de ces sphérolites semble également proche de celle de certains sphérolites oxaliques rénaux (Franceschi et Horner, 1980). Par contre, les cristallisations oxaliques,

bi-hémisphériques, probablement d'origine bactérienne, décrites par Verges (1985) dans un sol calcaire, ont seulement en commun avec nos sphérolites leur structure concentrique. Tout indice de structure radiée est absent et ces bi-hémisphères sont formées de tétragones pyramidés ou bi-pyramidés.

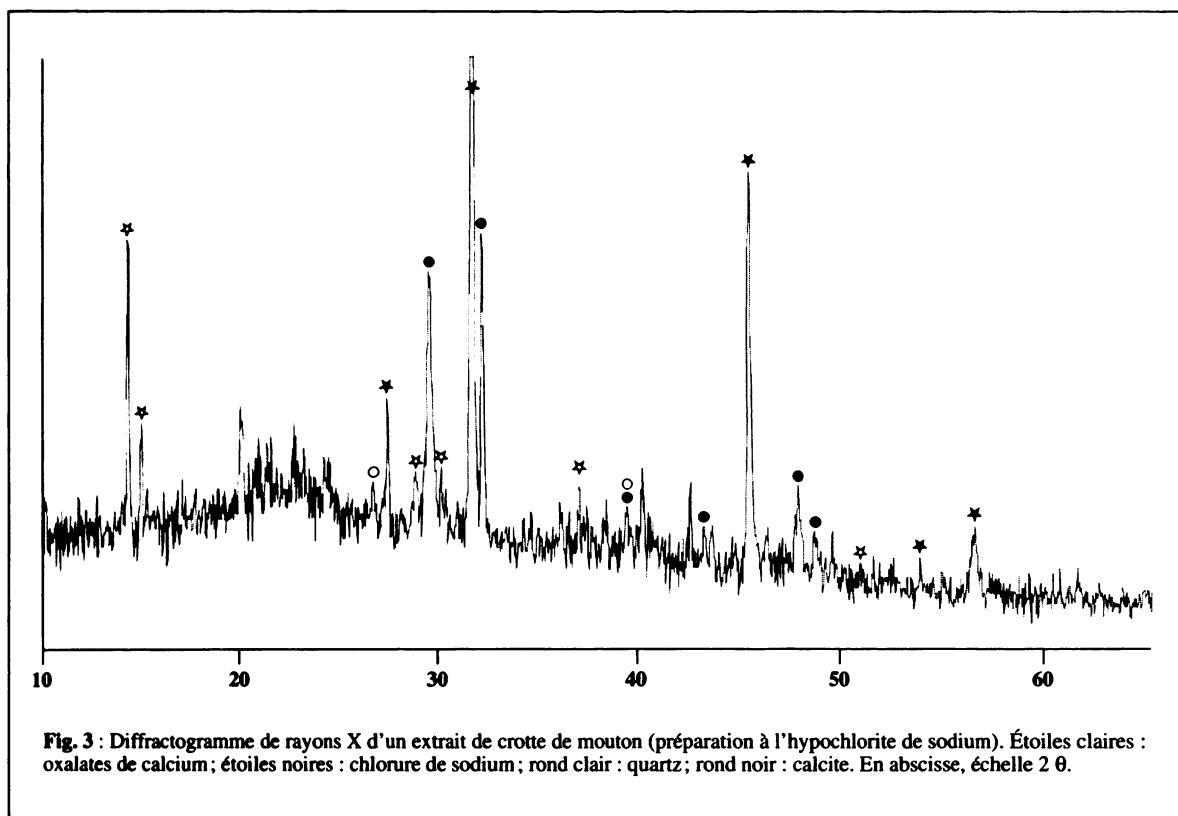
Sous le microscope, on peut facilement constater que les sphérolites des crottes de ruminants sont détruits par l'acide chlorhydrique dilué. À l'issue de cette attaque, seule reste une fine trame organique. La même expérience utilisant, cette fois, l'acide acétique dilué donne le même résultat. Ceci signifie que ces sphérolites ne sont pas de nature oxalique puisque les oxalates de calcium ne sont pas solubles dans l'acide acétique. À ce stade de l'analyse, rien ne s'oppose à ce qu'ils soient constitués de cristallites de carbonate de calcium. Les teintes d'interférence, qui peuvent paraître un peu basses pour ce minéral (premier et début du second ordre pour les diamètres les plus fréquents), ne contredisent pas cette détermination si l'on tient compte de la structure très lacunaire de ces sphérolites (Brochier *et al.*, 1992, fig. 4).

Le comportement à la chaleur des sphérolites est également à considérer. Dans toutes nos expérimentations, un passage au four en atmosphère oxydante à 500 °C d'une crotte de mouton suffit à transformer tous les oxalates de calcium végétaux en calcite (pseudomorphose). Les sphérolites *ne sont pas affectés* si ce n'est qu'ils deviennent foncés, parfois même presque opaques. Ce phénomène est sans doute lié à la carbonisation de la trame organique interne. Ils conservent leurs caractères optiques et en particulier leur croix noire sous un éclairage puissant (Brochier, 1993). Ce ne sont donc pas des oxalates de calcium. Ce n'est qu'entre 500 et 560 °C que les pseudomorphoses *et* les sphérolites sont détruits. L'identité de comportement lors d'une élévation de température des pseudomorphoses (en calcite) et des sphérolites plaide en faveur d'une même nature minéralogique.

Nous avons recherché une confirmation de la nature calcitique des sphérolites animaux en faisant appel à la diffraction des rayons X. Deux échantillons ont été traités. Le premier est constitué du résidu obtenu après digestion à l'hypochlorite de sodium d'une crotte de mouton. La principale difficulté a été d'obtenir un culot suffisamment débarrassé de la cellulose et des particules détritiques d'une taille supérieure à celle des sphérolites. Avant analyse, une lame a été montée pour vérifier la présence, en quantité suffisante, des sphérolites et déterminer les principales espèces minérales présentes. Celles-ci se limitent aux oxalates mono et di-hydratés et au quartz. Le diffractogramme (fig. 3), qui comporte plusieurs étalons internes (oxalates,

Tableau 1 : Présence de calcite sphérolitique dans les excréments de quelques mammifères domestiques et sauvages.

ESPÈCE	PRÉSENCE	PRÉSENCE OCCASIONNELLE	ABSENCE
Mouton (femelle)	X		
Dromadaire	X		
Chèvre (femelle)		X	
Agneau			X
Cheval			X
Âne			X
Cochon			X
Vache			X
Sanglier	X		
Cerf	X		
Chevreuril (jeune mâle)	X		
Mouflon (mâle)	X		
Gazelle	X		
<i>Gazella gazella</i> (mâle et femelle)			
Chamois		X	
Bouquetin			X
Bison			X
<i>Bison bonasus</i>			
Lièvre			X
Lapin	?		



quartz, mais aussi chlorure de sodium en tant que résidu de la minéralisation à l'hypochlorite de sodium) montre, en plus de ces minéraux, les pics caractéristiques de la calcite. Le léger décalage observé, dans le sens d'une maille légèrement plus petite que celle de la calcite, peut être attribué à une faible substitution du calcium par le magnésium. Dans la mesure où aucun cristal de calcite détritique n'est présent dans la lame microscopique de contrôle, nous devons conclure à la nature calcitique des sphérolites.

Le second échantillon traité provient d'un niveau de *migon*⁽²⁾ très pur, d'âge néolithique moyen, de l'aven de Baume Ronze dans l'Ardèche. Des techniques densimétriques de concentration ont été utilisées pour ne conserver que les particules de la taille des sphérolites. Une lame microscopique de contrôle permet de juger de l'extraordinaire abondance des sphérolites dans cet échantillon. Ils sont seulement accompagnés d'opale biologique (phytoli-

thaires et statospores de chrysophycées) et de quartz. Le diffractogramme nous montre une nouvelle fois l'abondance de la calcite (fig. 4).

Le dosage de la calcite dans les extraits soumis aux rayons X et dans le résidu obtenu par passage au four d'une crotte de mouton a été effectué au calcimètre. Ceci nous permet d'estimer plus précisément la quantité de calcite sphérolitique dans les excréments. L'échantillon obtenu par minéralisation à l'hypochlorite de sodium contient 9,3 % de calcite. Sachant qu'une crotte de mouton contient environ 72 % de matière organique (et non pas 28 % comme indiqué par erreur dans Brochier, 1983b), la quantité de calcite correspondante dans un matériel minéralisé (archéologique) serait d'environ 33 %. Cette valeur est d'ailleurs légèrement surestimée puisque nous avons fait notre possible pour éliminer une partie de la cellulose. Une crotte de mouton minéralisée au four à 500 °C contient 29 % de calcite. Ici

⁽²⁾ Crottes de mouton dans leur faciès d'hiver, écrasées et tassées par le piétinement, non additionnées de paille et/ou de foin. Nous employons ce terme d'origine provençale en l'absence d'équivalent français précis et non ambigu. Le terme fumier implique l'ajout d'une litière, pratique qui n'a pour l'instant jamais été démontrée par les études géoarchéologiques en milieu sec.

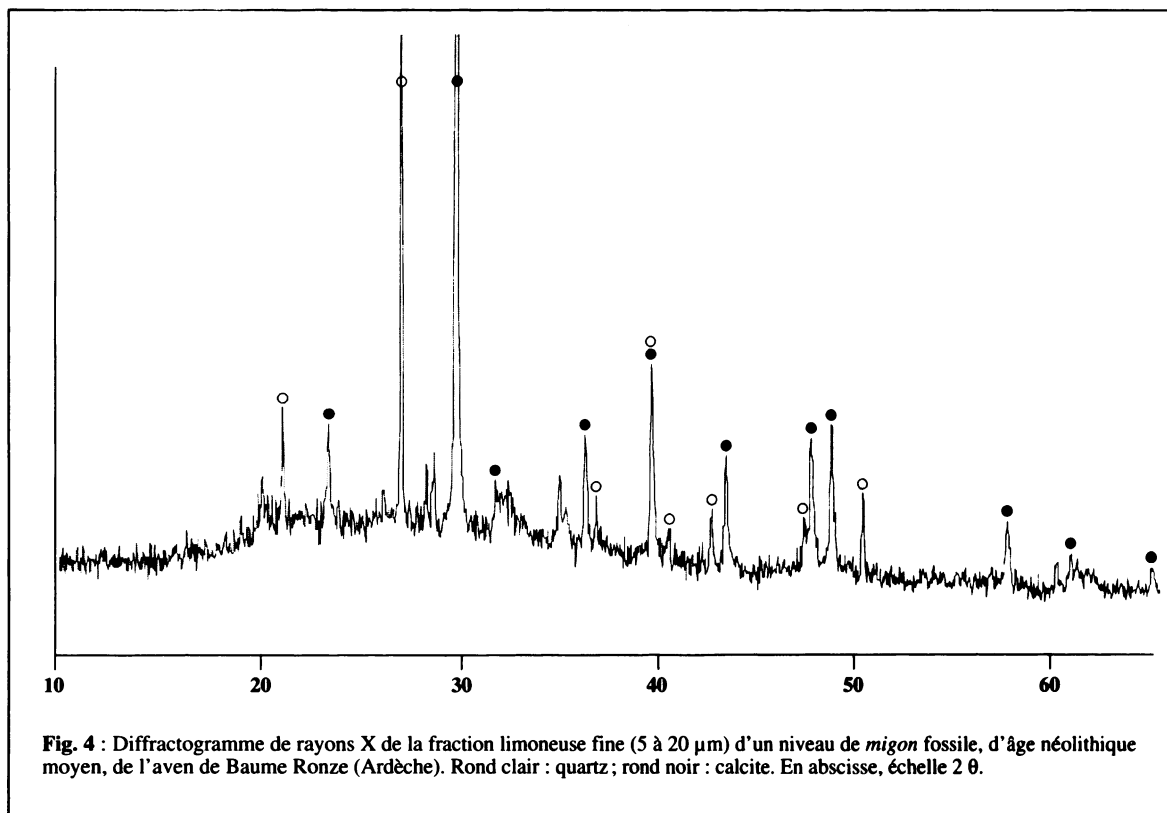


Fig. 4 : Diffractogramme de rayons X de la fraction limoneuse fine (5 à 20 µm) d'un niveau de *migon* fossile, d'âge néolithique moyen, de l'aven de Baume Ronze (Ardèche). Rond clair : quartz ; rond noir : calcite. En abscisse, échelle 2 θ.

encore, la valeur est sans doute légèrement surestimée puisque les rares cristaux d'oxalate de calcium ont été transformés par la chaleur en calcite. Enfin, le dosage des carbonates dans l'extrait de Baume Ronze nous donne la valeur de 29 %. Remarquons qu'elle est tout à fait en accord avec l'estimation visuelle que l'on peut faire sous le microscope.

Nous pouvons donc considérer qu'un tiers environ de la partie minérale des excréments de mouton est constitué de calcite sphérolitique, d'origine probablement bactérienne, précipitée dans les premiers centimètres de l'intestin grêle.

Des rameaux feuillus de chêne comme fourrage ?

La plupart des géoarchéologues ayant eu l'occasion ces dernières années de travailler sur des dépôts holocènes de grotte et d'abri sous roche ont remarqué, dans leurs

lames minces ou sur des décantations de la phase limono-argileuse, l'extraordinaire abondance, dans certaines unités stratigraphiques, des cristallisations sphérolitiques. L'interprétation qu'ils en ont donnée est généralement la suivante : 1- ces sphérolites sont des oxalates de calcium, 2-1 - ils proviennent de feuilles de ligneux (les chênes particulièrement) faisant partie de l'alimentation des animaux domestiques, et enfin 2-2 - ils sont la preuve d'un apport de fourrage d'arbre à un troupeau élevé en stabulation.

C'est ainsi que Courty *et al.* (1989), Wattez *et al.* (1990) ou Macphail *et al.* (1990) interprètent les dépôts néolithiques des Arene Candide. Les sphérolites, abondants (cf. figure III f in Courty *et al.*, 1989 ou figure 10 in Wattez *et al.*, 1990), sont confondus avec des druses oxaliques⁽³⁾. Ces auteurs en déduisent que ce sont les restes d'un nourrissage de bœufs et de petits ruminants, en stabulation, par des feuilles d'arbre (*leaf foddering*). Dans

⁽³⁾ Dans son travail de thèse, J. Wattez (1992) commet la même erreur. Elle reconnaît dans des cendres de feuille du carbonate de calcium et des sphérolites d'oxalate de calcium (p. 165). Il est clair, compte-tenu des températures de chauffe utilisées (500 °C, p. 116) qu'il ne peut s'agir d'oxalates de calcium. Ce sont très certainement des pseudomorphoses de druses oxaliques en calcite.

ces différentes versions préliminaires de l'étude des Arene Candide, ils font bien la distinction entre sphérolites (pour eux, les restes des feuilles de ligneux) et coprolithes. Ces derniers sont considérés comme les seuls indices de la présence d'excréments. En conséquence, les sphérolites observés dans les coprolithes seraient significatifs d'un régime alimentaire à base de feuilles d'angiospermes ligneuses. On pense même, en appréciant l'abondance de ces sphérolites oxaliques, pouvoir discuter du problème de la saisonnalité (Courty *et al.*, 1991).

Si l'on admet, comme nous pensons l'avoir démontré antérieurement (Brochier, 1983b, Brochier *et al.*, 1992) et plus haut, que les sphérolites observés dans ce site ne sont que ceux qui sont régulièrement produits par les petits ruminants, les dépôts des Arene Candide deviennent un cas relativement banal de parcage des petits ruminants en grotte avec brûlage périodique du *migon*. L'abondance

des sphérolites montre que les ovi-caprinés sont les principaux responsables de l'accumulation ; une conclusion qui est en accord avec les études paléontologiques (Rowley-Conwy, 1992). Aucune des observations géoarchéologiques effectuées sur ce site à ce jour ne démontre la pratique de la stabulation ni celle du nourrissage avec des fourrages d'arbre, frais ou séchés.

Le nourrissage hivernal (et/ou estival dans quelques pays méditerranéens) des troupeaux par du fourrage d'arbre (Rasmussen, 1989) ou par des branches non feuillées (Rasmussen, 1993) est pourtant une pratique clairement démontrée dans les sites où la conservation des restes végétaux est bonne. Quels sont donc les critères qui pourraient être utilisés en milieu sec ?

Le moins imparfait est un critère anthracologique. Thiébault (1988) dans son étude de Coufin 2 (dans l'Isère) remarque que la fréquence relative du frêne commun

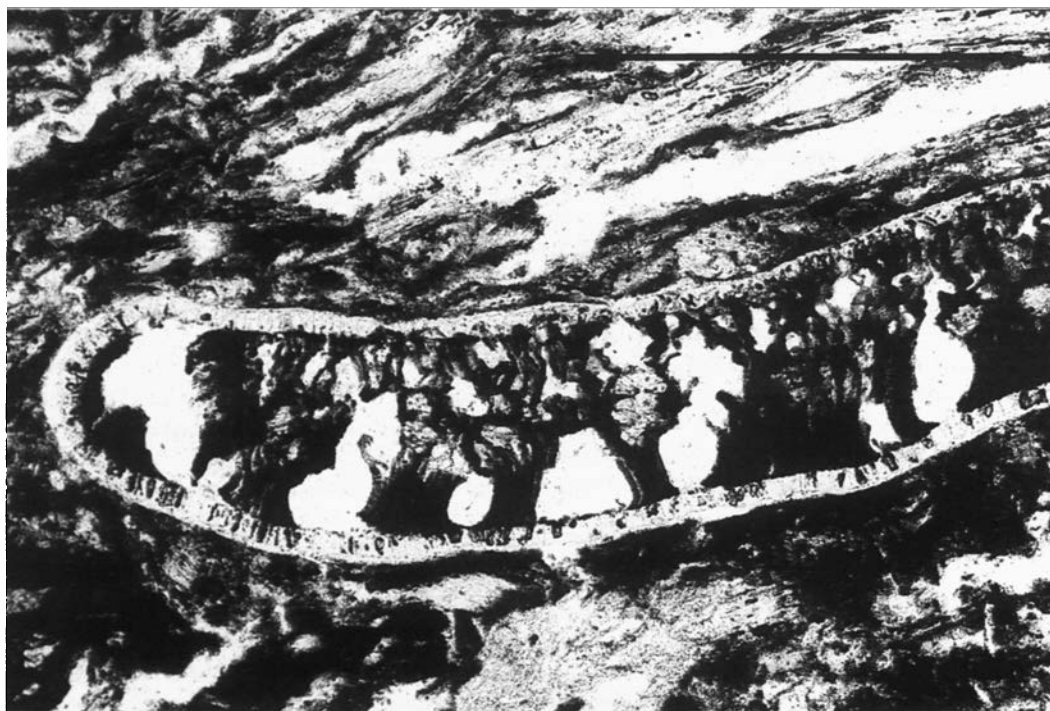


Fig. 5 : Fragment de feuille en cours de dégradation dans un *migon* sub-actuel de la grotte d'Uzzo (Sicile). Parenchyme palissadique, parenchyme lacuneux et épiderme sont encore identifiables. Aucun fourrage d'arbre n'est donné aux moutons et aux chèvres dans ce site. Échelle 500 μ m.

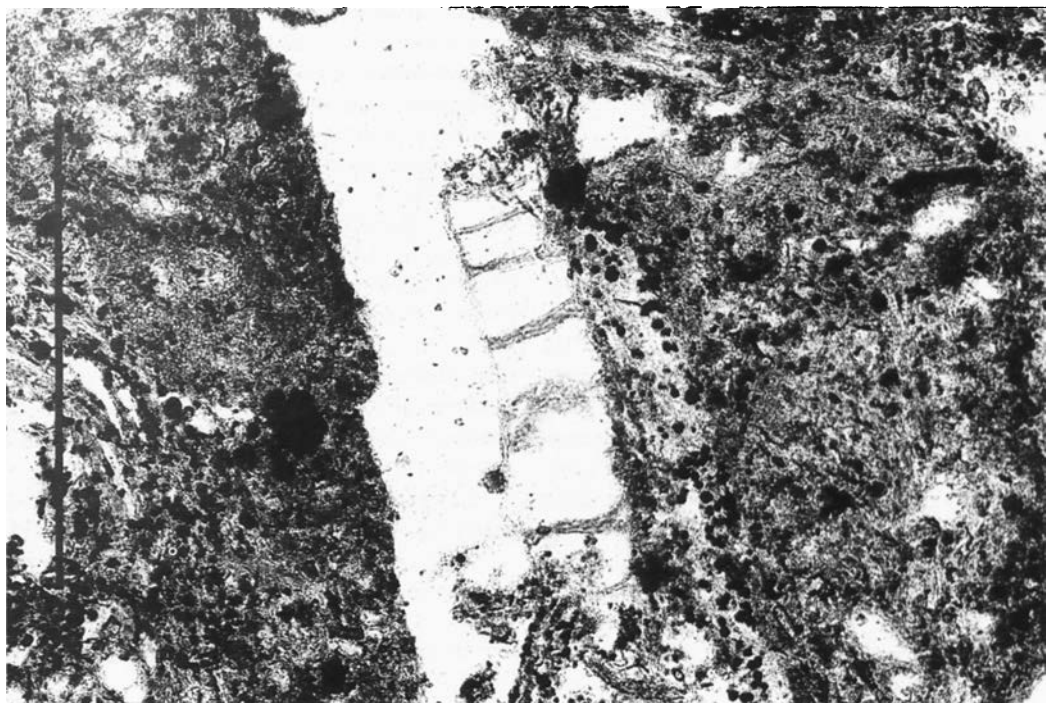


Fig. 6 : Fantôme de feuille (?) dans le *migon* brûlé C37, Néolithique moyen chasséen, de l'aven de Baume Ronze (Ardèche). Les punctuations noires sont des sphérolites carbonés associés à d'innombrables sphérolites clairs peu visibles en lumière polarisée non analysée. Échelle 500 µm.

(*Fraxinus excelsior* L.) évolue parallèlement à celle du bœuf entre la seconde moitié de l'Atlantique et la période gallo-romaine. Elle en conclut que le fourrage de frêne était utilisé et que les branches et branchettes résiduelles étaient utilisées dans les foyers. Aucun argument n'est cependant donné pour justifier sa non utilisation pour le nourrissage des caprinés.

Non loin de là, dans la grotte d'Antonnaire, perchée à quelques centaines de mètres au-dessus de la Drôme, Argant *et al.* (1991) notent, dans un seul foyer interstratifié dans des fumiers ovi-caprins d'âge néolithique moyen, des anomalies importantes (28,3 % de frêne commun mais aussi 15,1 % d'orme champêtre) qu'ils interprètent comme les restes d'un nourrissage des animaux. On pourra s'étonner de l'absence d'anomalies dans les spectres obtenus à partir des charbons des différentes couches de *migon*. C'est

pourtant bien là qu'elles devraient être les plus nettes dans l'hypothèse d'un nourrissage régulier.

La sur-représentation d'une espèce ligneuse disséminée, le frêne par exemple, est un indice assez fort en faveur de cette pratique; cependant, en l'absence d'arguments saisonniers (sur la période de coupe) et dimensionnels (sur la taille des branches), il est difficile d'être catégorique. D'autres utilisations du bois d'une essence donnée pourraient laisser la même trace. L'absence ou la faible fréquence des charbons d'une espèce donnée n'implique pas non plus, *a contrario*, que des rameaux feuillés n'aient pas été utilisés puisque l'on sait que l'on peut fort bien ne récolter que les feuilles (Austad, 1988). Enfin, les études ethnographiques (Durand-Tullou, 1972; Austad 1988) ainsi que nos propres observations montrent bien que la liste des ligneux utilisés est très longue. Elle concerne aussi bien les angio-

spermes que les gymnospermes. Lorsque l'on s'adresse à une essence non plus disséminée mais largement répandue - le chêne pubescent par exemple -, comment mettre cette pratique en évidence ? Des études anthracologiques, nous ne pouvons retirer que de fortes présomptions ; d'autres arguments, complémentaires, sont indispensables.

Nous avons vu plus haut que les feuilles des angiospermes que nous avons étudiées contiennent de nombreuses trachéides silicifiées. Si nous retrouvions ces phytolithaires en abondance dans une couche de *migon*, cela pourrait signifier que de nombreuses feuilles étaient mélangées aux fèces (c'est-à-dire qu'il s'agirait d'un complément alimentaire) ; ou que, plus simplement, les feuilles mortes s'accumulaient de temps à autre dans le site. Une forte proportion de chèvres dans le cheptel pourrait être également invoquée. Hypothèses très théoriques puisque nous n'avons jamais observé, dans les très nombreux échantillons analysés au cours de ces dernières années, une abondance particulière de ce type de phytolithaire, bien au contraire⁽⁴⁾. Nous avons, en revanche, parfois retrouvé des restes de feuilles (?) préservés grâce à la combustion du *migon* (fig. 5 et 6). Comme pour les vaisseaux silicifiés, l'hypothèse d'un apport naturel ne peut être éliminée. En tout état de cause, ces restes foliaires sont beaucoup trop exceptionnels pour que l'on puisse

raisonnablement y voir la preuve d'un nourrissage par des fourrages d'arbre.

La solution pourrait résider dans l'analyse des phytolithaires extraits d'un grand nombre de coprolithes. La présence constante de phytolithaires de feuilles de ligneux dans ces coprolithes pourrait être déterminante. La difficulté majeure serait alors d'isoler les coprolithes de mouton dans les horizons brûlés. En effet, leur morphologie d'hiver, caractéristique, ne se conserve pas, à cause du fort degré d'hydratation des fèces et du piétinement (les deux facteurs qui sont à l'origine du *migon*) ; leur morphologie d'été, dans les zones méditerranéennes de basse altitude, est trop proche de celle des chèvres pour qu'elles soient distinguées avec certitude. Ce dernier point est un handicap certain lorsque l'on sait l'appétence des chèvres pour les feuilles des ligneux qu'elles rencontrent sur leur parcours.

La confusion entre les druses oxaliques, abondantes dans les feuilles des angiospermes ligneuses, et les sphérolites calcitiques produits par les petits ruminants a pu faire croire à la réalité du nourrissage des troupeaux néolithiques à l'aide de fourrage de feuille. Aucune observation géoarchéologique n'est aujourd'hui parfaitement probante. Dans les sites de milieu sec, seule l'analyse anthracologique nous apporte quelques présomptions.

⁽⁴⁾ D'autres phytolithaires siliceux sont produits dans les feuilles des ligneux dicotylédones (*Ulmus minor* Mill. par exemple). S'ils peuvent nous aider à reconnaître la présence de feuilles dans les dépôts fossiles, ils ne suffisent pas à lever l'indétermination soulignée plus haut.

Bibliographie

- ARGANT J., HEINZ C. et BROCHIER J. L., 1991.- Pollens, charbons de bois et sédiments : l'action humaine et la végétation, le cas de la grotte d'Antonnaire (Montmaur en Diois, Drôme). *Revue d'Archéométrie*, 15 : 29-40.
- AUSTAD I., 1988.- Tree pollarding in western Norway. In : H. H. Birks, H. J. B. Birks, P. E. Kaland et D. Moe eds., *The cultural landscape. Past, Present and Future*. Cambridge : University Press, p. 11-29.
- BEECHING A. et MOULIN B., 1983.- Sédiments anthropiques et coprolithes animaux : modestes contributions à de grands problèmes ? *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 80 (3) : 72-74.
- BROCHIER J. E., 1983a.- Bergeries et feux de bois néolithiques dans le Midi de la France. Caractérisation et incidence sur le raisonnement sédimentologique. *Quartär*, 33/34 : 119-135.
- BROCHIER J. E., 1983b.- Combustions et parage des herbivores domestiques. Le point de vue du sédimentologue. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 80 (5) : 143-145.

- BROCHIER J. E., 1987.– Phénomènes anthropiques dans les sédiments : l'homme agent majeur de la sédimentation holocène. *Le Courrier du CNRS*, supplément au n° 67 : 78-79.
- BROCHIER J. E., 1990.– Des techniques géo-archéologiques au service de l'étude des paysages et de leur exploitation. In : *Archéologie et Espaces* (X^e Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire, Antibes). Juan-les-Pins : APDCA, p. 453-471.
- BROCHIER J. E., 1991.– Géoarchéologie du monde agropastoral. In : J. Guilaine ed., *Pour une Archéologie agraire*. Paris : Armand Colin, p. 303-322.
- BROCHIER J. E., 1993.– Çayönü Tepesi. Domestication, rythmes et environnement au PPNB. *Paléorient*, 19 (2) : 39-49.
- BROCHIER J. E., VILLA P. et GIACOMARRA M., 1992.– Shepherds and sediments : geo-ethnoarchaeology of pastoral sites. *Journal of Anthropological Archaeology*, 11 : 47-102.
- BUCZYNSKI C. et CHAFETZ H. S., 1991.– Habit of bacterially induced precipitates of calcium carbonate and the influence of medium viscosity on mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61 (2) : 226-233.
- CASTANIER S., MAURIN A. et PERTHUISOT J. P., 1989.– Production bactérienne expérimentale de corpuscules carbonatés, sphéroïdaux à structure fibro-radiale. Réflexions sur la définition des oïdes. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8 (5) : 589-595.
- COURTY M. A., GOLDBERG P. et MACPHAIL R., 1989.– *Soil micromorphology in archaeology*. Cambridge : University Press.
- COURTY M. A., MACPHAIL R. I. et WATTEZ J., 1991.– Soil micromorphological indicators of pastoralism; with special reference to Arene Candide, Finale Ligure, Italy. *Rivista di Studi Liguri*, 57 (1/4) : 127-150.
- DURAND-TULLOU A., 1972.– Rôle des végétaux dans la vie de l'homme au temps de la civilisation traditionnelle (étude ethnobotanique sur le Causse de Blandas). *Journal d'Agriculture tropicale et de Botanique appliquée*, 19 : 222-246.
- FRANCESCHI V. R. et HORNER H. T. Jr., 1980.– Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46 (4) : 361-427.
- GEIS J. W., 1973.– Biogenic silica in selected species of deciduous angiosperms. *Soil Science*, 16 (2) : 113-119.
- HELMER D., 1979.– *Recherche sur l'économie alimentaire et l'origine des animaux domestiques d'après l'étude des mammifères post-paléolithiques (du Mésolithique à l'Âge du Bronze) en Provence*. Thèse de 3^e cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier).
- HELMER D., 1984.– Le parage des moutons et des chèvres au Néolithique ancien et moyen dans le sud de la France. In : *Animals and Archaeology : Early herders and their flocks*. B.A.R. International series, 202, p. 39-45.
- HORWITZ L. K. et GOLDBERG P., 1989.– A study of pleistocene and holocene hyaena coprolites. *Journal of Archaeological Science*, 16 : 71-94.
- MACPHAIL R. I., COURTY M. A. et GOLDBERG P., 1990.– Soil micromorphology in archaeology. *Endeavour*, New Series, 14 (4) : 163-171.
- METCALFE C. R. et CHALK L., 1957.– *Anatomy of the Dicotyledons*. Oxford : University Press.
- POBEGUIN T., 1943.– Les oxalates de calcium chez quelques angiospermes. Étude physico-chimique, formation, destin. *Annales des Sciences Naturelles*, Botanique, 11^e série, 95 p.
- RASMUSSEN P., 1989.– Leaf-foddering of livestock in the Neolithic : archaeobotanical evidence from Weir, Switzerland. *Journal of Danish Archaeology*, 8 : 51-71.
- RASMUSSEN P., 1993.– Analysis of goat/sheep faeces from Egolzwill 3, Switzerland : evidence for branch and twig foddering of livestock in the Neolithic. *Journal of Archaeological Sciences*, 20 : 479-502.
- ROWLEY-CONWY P., 1992.– Arene Candide : a small part of a larger pastoral system? *Rivista di Studi Liguri*, 57 (1-4) : 95-116.
- THIÉBAULT S., 1988.– *L'homme et le milieu végétal. Analyses anthracologiques de six gisements des Préalpes au Tardi- et au Postglaciaire*. Documents d'Archéologie Française, 15, 110 p.
- VERGES V., 1985.– Solution and associated features of limestone fragments in a calcareous soil (lithic calcixeroll) from southern France. *Geoderma*, 36 : 109-122.
- VERNET J. L. et THIÉBAULT S., 1987.– An approach to northwestern mediterranean recent prehistoric vegetation and ecological implications. *Journal of Biogeography*, 14 : 117-127.

WATTEZ J., 1992.– *Dynamique de formation des structures de combustion de la fin du Paléolithique au Néolithique moyen. Approche méthodologique et implications culturelles*. Thèse Doc. Univ. Paris I (Panthéon-Sorbonne).

WATTEZ J. et COURTY M. A., 1987.– Morphology of ash of some plant materials. *In* : *Micromorphologie des sols*. Plaisir : A.F.E.S., p. 677-683.

WATTEZ J., COURTY M. A. et MACPHAIL R. I., 1990.– Burnt organo-mineral deposits related to animal and human activities in Prehistoric caves. *In* : L. A. Douglas ed., *Soil Micromorphology*. Amsterdam : Elsevier Pub. Comp., p. 431-439.
