



« À coup d'éclats ! »

*La fracturation des matières osseuses en Préhistoire :  
discussion autour d'une modalité d'exploitation en apparence simple et pourtant mal connue*  
Actes de la séance de la Société préhistorique française de Paris (25 avril 2017)

Textes publiés sous la direction de  
Marianne CHRISTENSEN et Nejma GOUTAS  
Paris, Société préhistorique française, 2018  
(Séances de la Société préhistorique française, 13), p. 341-358  
www.prehistoire.org  
ISSN : 2263-3847 – ISBN : 2-913745-2-913745-74-1

## Entre technique et taphonomie

# État de la recherche sur la fracturation *lato sensu* du bois végétal au Paléolithique

Tiphanie CHICA-LEFORT et Gisèle MAERKY

**Résumé :** Cet article propose une contextualisation et une discussion des connaissances relatives aux techniques de fracture (*sensu* Christensen, 2016) appliquées au bois végétal pour les périodes du Paléolithique. Les analyses technologiques des assemblages de bois fossiles d'époque préhistorique se sont développées ces dernières décennies, mais les méthodes sont aujourd'hui encore à un stade exploratoire. Le faible nombre de sites paléolithiques où une analyse technologique a été entreprise sur du matériel ligneux pose problème pour élaborer une synthèse des techniques connues à ces périodes. Dû au caractère périssable du bois végétal, un important biais de conservation existe, et tandis que certaines collections sont exceptionnellement conservées, les pièces peu ou pas transformées ne font pas l'objet d'étude systématique.

Grâce au développement de l'analyse technologique des bois en contexte préhistorique, les techniques de fracture qui leur sont appliquées commencent à être mieux décrites. Toutefois, les découvertes étant rares et les méthodes d'analyse encore peu développées, la connaissance générale que l'on a de ces pratiques restent lacunaires et éparées. La terminologie est par conséquent encore peu normalisée pour décrire les gestes techniques du travail du bois des chasseurs-cueilleurs, si bien que les termes « fracturation » ou « pan de fracture » tel qu'ils sont traités dans cet ouvrage sur les matières dures animales ne sont, pour l'instant, pas des termes utilisés en technologie ligneuse. Cependant, on observe bel et bien sur le bois des stigmates de fracture qui interrogent sur les techniques employées pour parvenir à ce résultat. Deux techniques de fracture peuvent ainsi être identifiées : le fendage (ou percussion linéaire : Christensen, 2016) et la flexion. Les descriptions ethnographiques montrent que ces techniques et en particulier le fendage étaient abondamment utilisées par les chasseurs-cueilleurs récents ou actuels dont l'exploitation de la matière ligneuse était une part importante de leur économie. Des exemples nous montrent l'importance et la diversité d'utilisation des techniques de fracture dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs paléolithiques.

La fracturation du bois végétal avec des outils en pierre est mieux connue au Mésolithique et au Néolithique où la prise en compte des stigmates techniques a permis d'identifier des actions de fendage du bois végétal avec une panoplie d'outils variés sur certains sites comme Star Carr en Angleterre.

Depuis les années 1990, des assemblages de bois végétal issus de contextes paléolithiques variés ont bénéficié d'études technologiques adossées à des expérimentations et prenant en compte les processus taphonomiques à l'œuvre dans la formation de ces assemblages.

Ainsi, afin de pouvoir identifier ces techniques sur les séries archéologiques de bois, il est crucial de traiter la question de la taphonomie afin de distinguer les fractures intentionnelles de celles d'origine naturelle (fragmentation). En effet, plusieurs facteurs et processus peuvent être la cause de la fragmentation du bois comme le *weathering*, le piétinement et l'action de l'eau. Certains processus naturels causent des pans de fracture naturels qui peuvent être confondus avec ceux relevant d'une action anthropique intentionnelle, comme le fendage ou la flexion du bois. Une synthèse des données disponibles sur ces questions nous a permis de recenser un certain nombre d'altérations taphonomiques et de stigmates techniques pouvant être identifiés sur des bois d'époque paléolithique.

**Mots-clés :** technologie du bois, fracturation, techniques de fracture, fendage, flexion, bois paléolithiques, taphonomie.

**Abstract:** This paper provides a contextualised approach and discusses our knowledge of Palaeolithic wood fracturing techniques (*sensu* Christensen, 2016). Over the last few decades technological analyses of prehistoric fossil wood remains have been more intensively developed. Nevertheless, the related methodology is still at an exploratory stage. This is mainly due to the small number of wood remains discovered for the Palaeolithic periods. Wood being a perishable material, it quickly disappears from archaeological sites. The lack of sites at which technological studies were carried out hinders an overview of the woodworking techniques known for this early period. Although some collections are exceptionally well preserved, the study of untransformed or only slightly transformed pieces is

not systematic.

With the development of technological wood analysis in a prehistoric context, fracturing techniques are increasingly better described. However, given that discoveries are still rare and methodologies still little developed, overall knowledge about fracturing is poor and scattered. Consequently, the terminology used to describe woodworking techniques of modern and ancient hunter-gatherers is not yet standardised. Woodworking specialists do not use the terms ‘fracturing’ and ‘fracture plane’ the way they are used for animal hard osseous material in the present volume. Nevertheless, fracturing stigmata (*lato sensu*, Christensen, 2016) can be observed on wooden objects, leading us to ask ourselves about the techniques that were used to obtain such a result. Two fracturing techniques can be identified: splitting and bending. Ethnographic descriptions evidence that these techniques and especially the splitting technique were widely used by hunter-gatherer societies, who were highly dependent on wooden resources. These examples show that fracturing techniques were important and diversified and this was certainly also the case as regards the techniques used by Palaeolithic people.

Fracturing techniques for the processing of wood using lithic tools are better known during the Mesolithic and Neolithic period, during which woodworking traces have been recorded. They make it possible to identify wood splitting actions using a wide range of tools at several sites such as Star Carr in the United Kingdom.

Since the 1990s, technological studies have been carried out on various Palaeolithic contexts, particularly through experimentations and by taking into account taphonomic processes. Indeed, to identify these techniques on archaeological artefacts, it is crucial to address the issue of taphonomy in order to be able to distinguish intentional fracturing from natural fracturing, called fragmentation. Several factors and degradation processes can cause wood fragmentation: weathering, trampling, action of water. Thus, natural processes can cause fracture planes; that may be misinterpreted as being woodworking marks made by intentional splitting or bending. A synthesis of available data on this subject allowed us to document some taphonomic alterations and anthropic marks that can be identified on wood in Palaeolithic contexts.

**Keywords:** wood technology, fracturing techniques, splitting, bending, Palaeolithic wooden remains, taphonomy.

EN RAISON du caractère périssable du bois, trop peu d’assemblages d’objets en bois végétal, qu’ils soient paléolithiques ou de chasseurs-cueilleurs récents, ont bénéficié de l’approche technologique telle qu’appliquée aux industries lithiques ou en matières dures d’origine animale. Le bois est pourtant un matériau de choix, complémentaire aux matières siliceuses et animales, car il permet de concevoir des objets très résistants à l’usage, aux formes variées et pouvant atteindre de grandes dimensions. Ses propriétés physiques telles que la durabilité, la résistance mécanique, la densité, son pouvoir isolant et son élasticité le rendent indispensable à de nombreuses activités et pour de multiples usages (Lavier *et al.*, 2009). Au regard de l’anthropologie culturelle, le bois végétal a de tout temps constitué une source de matière première essentielle au déroulement des activités quotidiennes et rituelles et ce, même dans des régions où cette ressource était peu abondante (Alix, 2016; Soffer *et al.*, 2000). Bien qu’il soit rarement découvert en contexte archéologique, les populations paléolithiques devaient également profiter de cette ressource ligneuse.

De ce manque de données sur le travail du bois au Paléolithique découle aussi un manque de repères terminologiques dans ce domaine. Pour les périodes historiques, compte tenu de l’emploi d’outils en métal similaires à ceux utilisés aujourd’hui, les spécialistes du travail du bois végétal peuvent faire appel à un vocabulaire issu de la menuiserie et de la charpenterie. Il est cependant plus difficile de trouver des termes adaptés aux techniques employées pour le travail du bois avec un outillage lithique ou en matières dures animales. Sachant que le bois végétal partage certaines caractéristiques anatomiques avec les matières dures animales, il semble pouvoir réagir de façon similaire aux mêmes types de sollicitations mécaniques (Christensen, 1999, p. 53). Ces

similitudes tiennent en premier lieu au caractère fibreux de ses tissus; ces dernières étant composées majoritairement de cellules minces et allongées parallèles entre elles. Par ailleurs, ces matières sont anisotropes, car toutes leurs cellules sont orientées d’une manière déterminée, il en résulte que ces matières réagissent différemment aux sollicitations mécaniques et physiques selon leur direction (Krotkine et Denancé, 2013, p. 45). Le caractère fibreux et l’anisotropie des matières osseuses et du bois végétal sont des propriétés qui ont une influence sur la manière dont ces matériaux réagissent aux techniques de fracture (*sensu* Christensen, 2016). C’est dans ce sens qu’il nous a paru intéressant de présenter un parallèle concernant la fracturation *lato sensu* (voir Goutas et Christensen, ce volume) du bois végétal dans ce volume consacré aux matières dures animales. Se baser sur certains acquis terminologiques de la technologie osseuse et les adapter aux spécificités mécaniques et physiques du bois végétal pourrait donc être un moyen d’avancer efficacement sur ce sujet.

Notre objectif sera de définir les techniques de fracture et de voir quel a pu en être leur usage pour le travail du bois dans une économie de chasseurs-cueilleurs. Malheureusement, comme pour les matières dures animales, diverses techniques de fracture ont pour stigmat principal le pan de fracture (Christensen, 2016; voir aussi Goutas et Christensen, ce volume); ce dernier étant très similaire à certaines altérations taphonomiques. La première étape est donc de pouvoir reconnaître si un pan de fracture est anthropique ou non, et à notre connaissance, si les critères distinctifs en la matière tendent à se préciser pour les matières dures animales, notamment au travers de plusieurs contributions au sein de cet ouvrage, ces critères restent encore limités pour le bois végétal. C’est en partie à combler ce manque que cet article est destiné.

## LE BOIS VÉGÉTAL NOTIONS INTRODUCTIVES

Le bois est issu d'un organisme vivant : l'arbre. Il se retrouve dans les racines, le tronc et les branches. Il s'agit d'un tissu organique ne contenant qu'une très faible proportion d'éléments minéraux (Tsoumis, 1991, p. 60) à la différence des matières dures animales qui comprennent une phase minérale importante (environ 60% pour le bois de cervidé et 67% pour l'os de fémur de bovidé; Reiche et Chadefaux, 2015, p. 45). Il a déjà été dit en introduction que le bois est constitué de différentes cellules majoritairement orientées verticalement et qu'en cela il s'agit d'un matériau fibreux. Ces cellules sont principalement chargées de la conduction de la sève, du stockage des nutriments et du maintien de la structure.

Dans les milieux tempérés, l'arbre produit tous les ans une couche périphérique de cellules supplémentaires, c'est le cerne de croissance (Lavier, 2013, p. 257-258; Tsoumis, 1991, p. 12-15). Différentes parties peuvent alors être distinguées en allant de l'extérieur vers l'intérieur du tronc (Schweingruber, 1978, p. 13; ici : fig. 1); l'écorce, la couche extérieure de l'arbre, le protège des attaques extérieures, l'aubier est le bois formé le plus récemment au sein de l'arbre et dont toutes les cellules sont actives, et enfin le duramen est le bois le plus ancien au sein de l'arbre. Les cellules du duramen n'ont plus qu'un rôle de soutien de la structure et non plus de conduction et de stockage de la sève, on dit qu'elles sont mortes (Dinwoodie, 2000, p. 3; Lavier, 2013, p. 258; Tsoumis, 1991, p. 15-16 et 29).

Compte tenu de l'arrangement de ces cellules, trois plans différents du bois peuvent être distingués (fig. 1) :

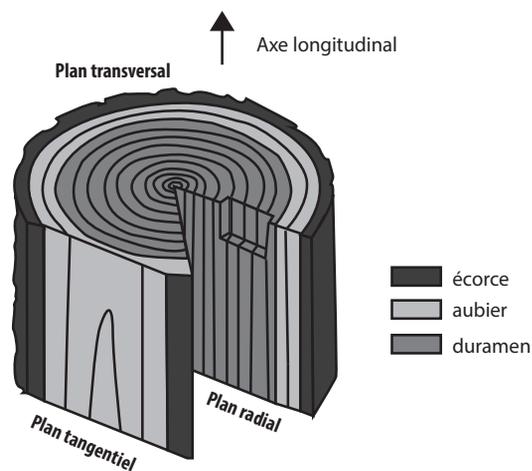
- transversal, *i. e.* perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'arbre;
- tangentiel, *i. e.* parallèle à l'axe longitudinal de l'arbre, tangent aux cernes et ne passant pas par le cœur de l'arbre;
- radial, *i. e.* parallèle à l'axe longitudinal de l'arbre et passant par le cœur de l'arbre.

### Généralités sur les propriétés physiques du bois

#### Variabilité

La croissance du bois est le produit d'une interaction de facteurs (génétiques, climatiques et écologiques) qui modifient le processus de formation du bois et en fait une matière extrêmement variable (Boura, 2009). Ainsi :

« la composition chimique du bois, ses caractéristiques physiques et mécaniques, sa densité, son anatomie, relèvent à la fois de ses conditions de croissance (nature et type de sol, altitude, exposition), de l'âge de l'individu ou du rang de l'axe, de la saison de coupe et, enfin de la génétique (variations populationnelles ou taxonomiques) » (Théry-Parisot *et al.*, 2016, p. 486).



**Fig. 1** – Structure et plans du bois (modifié de Schweingruber, 1978).

**Fig. 1** – Wood structure and sections (modified after Schweingruber, 1978).

Cette diversité de propriétés chimiques, physiques et mécaniques du bois est une notion centrale pour l'artisan aussi bien que pour le technologue afin de comprendre comment cette matière peut être travaillée. Cette variabilité influe notamment sur des propriétés telles que la densité du bois qui peut être très différente d'une essence à une autre allant du Balsa (*Ochroma pyramidale*) avec une valeur de 0,176 kg/m<sup>3</sup> au Gaïac (*Guaiacum sp.*) avec une densité de 1,230 kg/m<sup>3</sup> (Dinwoodie, 2000, p. 43). La densité est par ailleurs corrélée à la majeure partie des autres propriétés physiques et mécaniques de cette matière (Dinwoodie, 2000; Krotkine et Denancé, 2013, p. 49).

#### Anisotropie

Le bois peut être considéré comme un matériau « composite constitué de fibres de celluloses orientées » (Krotkine et Denancé, 2013, p. 45). Cette orientation est majoritairement verticale et chaque plan du bois (transversal, tangentiel, radial) présente alors les cellules ligneuses sous un autre angle. Cet arrangement spécifique le rend anisotrope, c'est-à-dire qu'il ne réagit pas de la même manière aux sollicitations physiques et mécaniques selon ses plans (Dinwoodie, 2000, p. 5).

#### Humidité

Le bois est un matériau hygroscopique; il a la capacité d'absorber l'eau présente dans son environnement sous forme de vapeur ou de liquide et de la restituer lorsque l'hygrométrie baisse. L'eau peut être présente sous forme d'eau liée, dans les parois des cellules ou d'eau libre, à l'intérieur des vaisseaux et des interstices (Aléon, 2013, p. 3135). Lorsque le bois sèche, c'est l'eau libre qui s'échappe la première. Lorsque toute cette eau libre s'est échappée, le bois atteint le point de saturation des fibres (PSF), généralement situé autour de 30% d'humidité. Ce n'est

qu'ensuite que le bois perd son eau liée. En dessous du point de saturation des fibres, le bois varie en termes de dimension et plus il sèche, plus il perd en volume. Par ailleurs, la plupart des propriétés mécaniques du bois, et notamment son élasticité, dépendent de l'humidité qu'il contient (Krotkine et Denancé, 2013, p. 46).

### Retrait

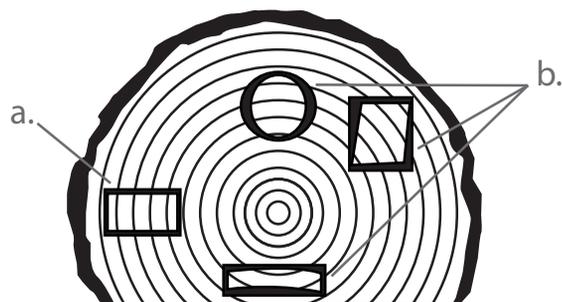
Le phénomène de variation dimensionnelle, lorsque le bois perd son eau liée, est appelé le « retrait du bois ». Le bois étant un matériau anisotrope, son retrait n'est pas équilibré selon ses plans. Dans son axe longitudinal, le retrait est extrêmement faible, et peut être 50 fois plus élevé sur l'axe tangentiel, étant lui-même 1,5 à 2,5 fois plus élevé que sur l'axe radial (Aléon, 2013, p. 33). Ce déséquilibre vient créer des déformations des pièces de bois lors du retrait du bois. Le schéma (fig. 2), montre le type de déformation subit selon la position et l'orientation de la pièce de bois au sein du tronc. On observe que ces déformations sont importantes lorsque l'orientation des pièces ne suit pas celle des plans du bois et qu'il est cependant possible de les contrôler lorsque les plans du bois sont pris en compte. C'est ce phénomène qui entraîne l'apparition des fentes de séchage dont la présence peut être accentuée si le séchage du bois est trop rapide ou trop élevé (Dulbecco et Luro, 1998, p. 34).

Ces particularités structurales, chimiques et physiques du bois ont une influence sur les propriétés mécaniques du bois en relation avec les techniques de fracture et les altérations taphonomiques (cf. *infra*). Elles différencient également le bois des matières dures animales sur certains aspects. Par exemple, le bois, car non minéral, est moins sujet à la propagation des fractures préexistantes que le sont les matières dures animales (Currey, 2002, p. 98).

## TECHNOLOGIE : FRACTURE INTENTIONNELLE

### Fracture et pan de fracture dans le travail du bois

Le terme de fracture ou de fracturation *lato sensu*, comme il est traité dans cet ouvrage, n'est pas encore un terme utilisé par les spécialistes du travail du bois. Il convient alors de le redéfinir selon les principes mécaniques propres au bois végétal. En effet, il est assez délicat de l'utiliser, sans ajustement, pour parler du bois végétal, qui malgré sa similarité structurelle avec les matières dures animales déjà énoncée, est plus plastique, car moins minéral. La technique de fracture par percussion diffuse directe (ou éclatement, *sensu* Christensen, 2016) appliquée transversalement aux fibres fonctionne très bien sur les matières dures animales en produisant des éclats (débitage par fracturation *stricto sensu*, voir Goutas et Christensen, ce volume); en revanche, elle n'est absolument pas concluante pour le bois végétal qui ne



**Fig. 2** – Déformation du bois après retrait du bois (modifié de Dulbecco et Luro, 1998); a : retrait équilibré grâce à la concordance des plans du bois et des côtés de la pièce extraite; b : retrait entraînant des déformations de la section de la pièce de bois dû à la non-prise en compte des plans du bois.

**Fig. 2** – Wood deformation after shrinkage (modified from Dulbecco and Luro, 1998); a: controlled shrinkage thanks to the concordance of the radial and tangential wood sections of the extracted piece; b: shrinkage triggering deformations of the section of the wooden pieces, because the orientation of the wood sections was not taken into account.

subit, pour le même geste, qu'un écrasement des fibres. Le bois, grâce à sa structure en fibres longitudinales, son élasticité et sa résistance aux chocs dans l'axe transversal, est un matériau qui ne produit pas d'éclats. Cependant, si l'on conçoit la fracturation dans une acception large, soit comme la rupture d'un matériau suite à une violente contrainte mécanique et créant un pan de fracture, il est alors possible d'utiliser ce terme pour décrire certaines techniques du travail du bois végétal. En effet des techniques, bien connues, que sont le fendage (ou clivage) et la flexion, répondent à cette définition (cf. *infra*). La première technique désigne une séparation des tissus opérée parallèlement aux fibres ligneuses; la seconde les rompt perpendiculairement.

Comme c'est le cas pour les matières dures animales, ces techniques créent un stigmate principal : le pan de fracture. Ce stigmate peut être reconnu par sa surface brute et irrégulière, car les fibres sont simplement séparées par la force appliquée dans l'axe parallèle aux fibres dans le cas du fendage (fig. 3a) ou déchirées quand la force est appliquée perpendiculairement aux fibres dans le cas de la flexion (fig. 3b).

### Le fendage

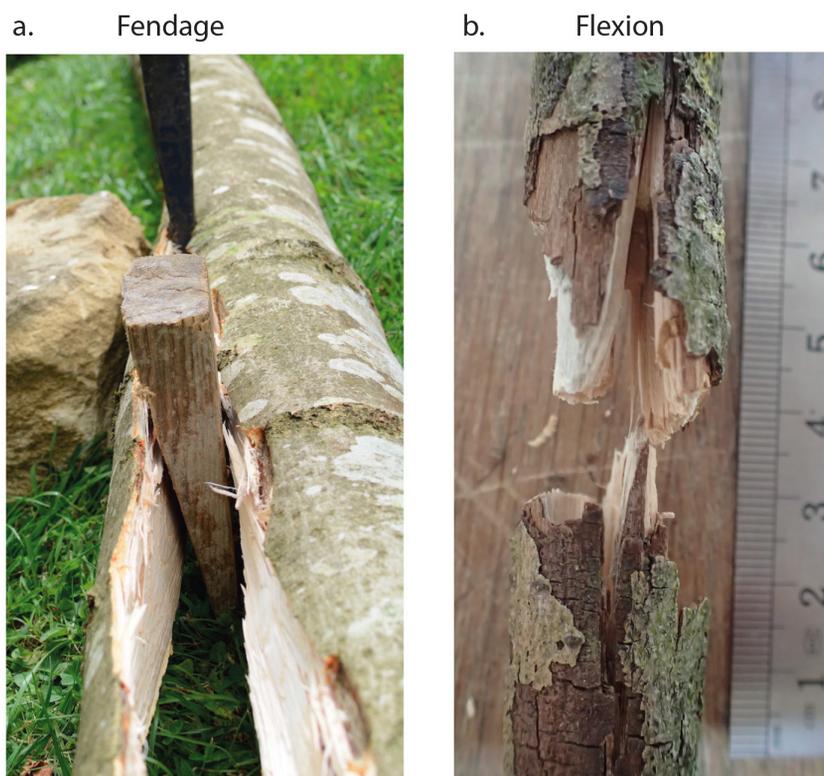
#### Définition et principes mécaniques du fendage

Le fendage est une technique consistant à diviser une pièce de bois, non pas en coupant les fibres ligneuses, mais en les séparant dans leur sens longitudinal. Le fendage, une percussion linéaire, peut être direct ou indirect. Dans tous les cas, une pièce équipée d'un biseau doit être utilisée pour qu'elle puisse se glisser entre les fibres, les écarter et ainsi créer une ligne de fente. Daniel Pillonel rajoute à ce sujet :

« L'épaisseur et la forme de la lame jouent un rôle non négligeable dans le travail de la fente. Une lame épaisse, terminée par un biseau abrupt, contribue à écarter davantage les flancs et éloigne de façon notable la ligne de fente du tranchant (Pillonel, 2007, p. 63). »

Le bois est un matériau qui par son caractère fibreux, se prête bien au fendage, on dit qu'il est fissible. De par son anisotropie, le bois n'est fissible que dans le sens des fibres et l'est plus facilement dans son plan radial que tangentiel. Bien que tous les bois possèdent cette qualité, la fissibilité, appelée également aptitude au fendage, varie largement selon les espèces et les conditions dans lequel l'arbre a poussé (Record, 1914, p. 41). Elle regroupe plusieurs paramètres qui déterminent l'efficacité de la technique de fendage et surtout le contrôle que peut avoir l'artisan sur cette technique. Tout d'abord le fil du bois, c'est-à-dire l'orientation des cellules longitudinales du bois, doit être droit. Il s'agit d'un facteur primordial pour qu'un morceau de bois ait de bonnes qualités de fissibilité. En effet, cette technique crée une ligne de fente parallèle aux fibres qui s'ouvre en suivant la direction du fil. Ainsi, si le fil du bois n'est pas droit, la ligne de fente ne l'est pas non plus, car elle suit cette déviation et le geste technique ne peut alors que très difficilement être maîtrisé. Certains bois, comme la

plupart des arbres fruitiers, le charme (*Carpinus betulus*) ou les cornouillers (*Cornus* sp.) par exemple, ont une faible aptitude au fendage, car leur fil est tors, c'est à dire qu'il suit naturellement un trajet en hélice par rapport à l'axe de l'arbre. Alors que les essences comme les noisetiers (*Corylus* sp.), les pins (*Pinus* sp.) ou le cèdre rouge (*Thuja plicata*) sont, quant à elles, d'excellente fissibilité. Le droit fil du bois n'est toutefois pas uniquement déterminé par son essence, mais aussi par la rectitude de la tige ou du tronc qui dépend de « l'histoire de l'individu » selon si sa croissance a pu être rectiligne ou non. Bien que l'essence auquel il appartient soit *a priori* de bonne fissibilité, il peut avoir poussé dans un environnement non propice, par exemple sur un terrain pentu ou face à un vent fort unidirectionnel, qui a pu faire dévier sa trajectoire de croissance et le rendre inapte au fendage. Par ailleurs, des singularités et défauts venant interrompre le caractère rectiligne des fibres peuvent apparaître dans le bois : nœuds, poches de résine, gélivures, ou autres blessures. Leur présence est donc à éviter lorsque l'on veut contrôler la fente d'un bois. Enfin, et bien que ces aspects soient secondaires par rapport au fil du bois, il faut signaler que la fissibilité augmente plus la cohésion des fibres est faible et la rigidité du bois est forte, ce qui dépend également des essences (Record, 1914, p. 41).



**Fig. 3** – Exemples de techniques de fracture ; a : fendage par percussion indirecte linéaire sur tronc de frêne, *Fraxinus excelsior*, de 16 cm de diamètre (cliché G. Maerky) ; b : flexion transversale effectuée sur une branche d'érable, *Acer pseudoplatanus* (cliché T. Chica-Lefort). Dans les deux cas, on observe de part et d'autre de la rupture du matériau des pans de fracture.

**Fig. 3** – Examples of fracturing techniques ; a : splitting by indirect linear percussion on an ash (*Fraxinus excelsior*) tree trunk of 16 cm in diameter (photo G. Maerky) ; b : transverse bending on a maple (*Acer pseudoplatanus*) branch (photo T. Chica-Lefort). In both cases, fracture planes can be observed on either side of the rupture of the material.

Si de nos jours, le perfectionnement des outils, l'usage du métal et le traitement industriel du bois permettent de s'affranchir partiellement des contraintes de la matière, la recherche de bois de forte fissibilité devait probablement être primordiale au Paléolithique et pour les peuples de chasseurs-cueilleurs de tout temps, car c'est un critère essentiel pour fendre un morceau de bois de façon contrôlée avec des outils lithiques, osseux ou ligneux. Certains exemples archéologiques pourraient montrer cette attention à la sélection de bois fissible pour des actions de fendage. C'est par exemple le cas à Monte Verde au Chili (18,5-14,5 ka cal. BP), alors que d'autres espèces étaient disponibles et utilisées, les objets sur lesquels ont été identifiés des stigmates de fendage sont faits d'une seule espèce, le *mañio* (*Podocarpus nubigenus*), qui est d'excellente fissibilité (Dillehay, 1997, p. 152). Au Japon, la comparaison des choix de sélection de matière première pour la fabrication d'objets en bois végétal entre les périodes Jomon, où uniquement des outils en pierre étaient disponibles, et la période Kofun, où l'adoption du métal est déjà acquise, est également révélatrice à ce sujet. En effet, à la période Jomon, on sélectionne majoritairement du châtaignier (*Castanea crenata*), qui est d'excellente fissibilité et donc plus facilement fissible même avec des outils simples. À la période Kofun, d'autres espèces moins fissibles comme le chêne (*Quercus sect. aegilops*) prennent le dessus, ce qui pourrait s'expliquer par l'usage d'outils plus perfectionnés permettant de contourner les contraintes de la matière (Noshiro *et al.*, 1992, p. 440). Ainsi, on peut conclure que le fendage est une technique fondée sur l'exploitation des qualités intrinsèques de la matière (fissibilité), son efficacité varie selon le bois utilisé, le choix de celui-ci est donc déterminant et la connaissance des matières indispensable pour pouvoir l'appliquer.

### L'emploi du fendage

Le fendage est une technique dont l'importance est fonction de son utilisation pour l'étape de débitage du bois végétal. La technique du sciage, pour de gros blocs, n'est, quant à elle, attestée que plus tardivement avec l'émergence de lames de scie en métal. On peut alors estimer que le fendage a été une des seules techniques utilisables pour débiter le bois avec des outils non métalliques. À cela, s'ajoute l'importance même du débitage dans le travail du bois. En effet, le bois peut être de qualité différente selon l'endroit du tronc où il est extrait. Les techniques de fendage ne servent alors pas uniquement à obtenir un gabarit ou une morphologie adéquate pour la fabrication d'objets, mais aussi à extraire un bois aux propriétés requises pour certaines utilisations. L'aubier est par exemple bien plus putrescible que le duramen (Collardet et Besset, 1988, p. 10-11), et peut être une partie indésirable si le but est d'utiliser du bois le plus durable possible. Par ailleurs, le bois végétal étant un matériau hygroscopique et anisotrope (cf. *infra*), il peut, après façonnage, se déformer de manière indésirable selon les conditions climatiques ambiantes (fig. 2). Pour

préserver le profil d'un support en bois, il est donc indispensable de l'extraire en prenant en compte l'orientation des plans du bois. Le débitage est alors inévitable pour sélectionner la partie la plus stable, se situant préférentiellement dans le duramen et extraite en suivant l'orientation des plans du bois. Ce choix de matière est particulièrement crucial pour certains objets comme les hampes de projectiles dont les qualités aérodynamiques dépendent de la rectitude de leur profil. Klaus Beckhoff a cherché à définir quelles étaient les propriétés que devait posséder un bois de hampe de flèche. Il conclut que le matériau doit être choisi selon son élasticité, sa fissibilité, mais également sa stabilité, c'est-à-dire sa capacité à ne pas se déformer après fabrication. Selon ce dernier critère, Klaus Beckhoff rappelle qu'un tel bois doit nécessairement être extrait du duramen du tronc (Beckhoff, 1965, p. 54). Il est probable que cet aspect était connu par les sociétés paléolithiques dont la survie dépendait de l'efficacité de leur projectile :

« Dass aber bereits im Endpaläolithikum Kiefernholz gebräuchlich war, zeigen die in Ahrensburg/Stellmoor zahlreich aufgefundenen Schäfte, demnach man die nicht einfache Werkstoffgewinnung durch geschicktes Spalten mittels einfacher Flintwerkzeuge bereits verstand<sup>(1)</sup> (Beckhoff, 1965, p. 56). »

Compte tenu de l'importance même de la phase de débitage pour obtenir des supports de qualité et de par le caractère quasi indispensable du fendage pour cette étape de la chaîne opératoire, la maîtrise de la technique de fendage, peut être considérée comme moteur pour permettre des avancées ou des perfectionnements dans la production des objets en bois.

L'utilisation du fendage n'est pour autant pas limitée à la phase de débitage et peut également être utilisée lors du façonnage des objets. Les exemples sont plus rares, mais les objets monoxyles fourchus en constituent un. Les femmes *yaghan*, chasseurs-cueilleurs historiques de Patagonie australe, utilisaient notamment, de longues fourches pour collecter des coquillages et des crustacés sous l'eau. Des textes ethnographiques (Gusinde, 1937, p. 488; Hyades et Deniker, 1891, p. 301, pl. 32) précisent que ces fourches étaient faites d'une pièce de bois dont l'extrémité était fendue en plusieurs fourchons maintenus écartés par un système de ligature; ce dernier empêchait du même coup que la ligne de fente ne se propage lors de l'utilisation.

### Les variantes du fendage

#### La percussion linéaire indirecte

La percussion linéaire indirecte est une technique idéale pour fendre le bois, car elle permet une certaine maîtrise du geste et peut se faire à l'aide d'outils relativement simples. Elle nécessite l'usage d'une pièce intermédiaire à partie active biseautée : le coin, encore en usage aujourd'hui. Selon les sources archéologiques aussi bien qu'ethnographiques, le coin est un élément

intemporel et interculturel de la culture matérielle des chasseurs-cueilleurs, et il serait vain de vouloir en citer tous les témoignages. Bjarne Grønnow signale pour les sites de Qequerqasussuk et Qajaa à l'ouest du Groenland à la période Saqqaq (3900-2600 BP):

« All of the woodworking began by splitting the driftwood trunks into beams or 'boards'. This was done by means of quite sturdy wedges of whale bone, antler, or (rarely) ivory. The wedges show traces of heavy hammering on the proximal end (Grønnow, 2012, p. 25). »

En quelques mots, Bjarne Grønnow reprend des points fondamentaux de la percussion indirecte linéaire, valables également pour d'autres contextes. Il souligne l'importance du fendage pour le travail du bois et insiste sur le fonctionnement du coin en tant que pièce intermédiaire. Sur les sites paléolithiques où les objets en bois ont disparu, cet outil et ses traces d'utilisation restent la principale porte d'entrée pour documenter la technique du fendage par percussion indirecte. Les coins peuvent être faits de diverses matières dures animales, mais d'autres matériaux peuvent être envisagés, comme les matières lithiques ou ligneuses. Le film ethnographique *Building a kayak* (Balicki et Brown, 1967), montre par exemple deux Inuit Netsilik (Arctique canadien) qui après avoir initié une fente avec un outil métallique, introduisent de simples pierres plates dans la ligne de fente pour la faire ouvrir. L'utilisation de coin en bois végétal est également largement documentée en contexte ethnographique (Linton, 1923, p. 347; Birket-Smith, 1953, p. 73; Osgood, 1970, p. 362; Emmons, 1991, p. 191). Il s'agit cependant d'objets périssables qui, bien que possiblement produits également au Paléolithique, ne se conservent pas sur la plupart des sites fouillés. Ce n'est qu'en contexte exceptionnel qu'ils sont retrouvés comme à Monte Verde au Chili (18500-14500 cal. BP) ou des pièces en bois végétal « with sharp-pointed or wedge shaped edges » sont identifiés comme étant des pièces intermédiaires ayant servi à fendre du bois végétal (Dillehay, 1997, p. 151). Selon les sources ethnographiques, le percuteur peut être de différents types, d'une simple masse en pierre (Olson, 1936, p. 78; Gusinde, 1937, p. 496; Stewart, 1984, p. 30), au galet emmanché (Honigmann, 1954, p. 28; Stewart, 1984, p. 30-31) ou encore au maillet en bois (Nelson, 1900, p. 88; Osgood, 1970, p. 103).

Pour des tronçons courts, le bois est susceptible d'être fendu par le plan transversal du bois, c'est-à-dire à partir de l'extrémité du bois, appelée aussi bois de bout. Cependant, dès qu'il s'agit d'extraire de longs supports, par exemple pour des hampes de projectiles de plusieurs mètres, les troncs sont attaqués de manière latérale, en insérant successivement des coins dans la fente de manière à la guider jusqu'à ce que la partie voulue se détache.

#### La percussion linéaire directe

Pour ce qui est de la percussion linéaire directe, c'est la hache qui, avec « sa longue lame biseautée, est l'outil

type pour cette intervention » (Pillonel, 2007, p. 63). Il est en réalité difficile de procéder à du fendage par percussion linéaire directe avec un autre type d'outil puisque pour cette technique deux critères semblent essentiels : une lame assez fine et lisse pour pouvoir s'insérer entre les fibres du bois, les séparer sans les écraser et une force du geste élevée, permettant de créer une fente la plus longue possible, induisant automatiquement la présence d'un manche. Le geste qui répond le plus explicitement à ces principes est certainement celui de la hache décrivant un arc de cercle au-dessus de l'utilisateur afin, d'une part, d'accumuler de la puissance et d'autre part, que la lame de la hache puisse au moment du contact avec le bois se planter entre les fibres et initier une fente qui se propagera sur une certaine longueur en fonction de la force du geste, de la taille et de la fissibilité de la pièce de bois. Pour l'instant, nous ne disposons d'aucune donnée paléolithique qui prouve l'utilisation de cette variante du fendage. En effet, bien que des outils comme le hachereau aient pu faire office de haches, leur usage pour le fendage n'est pour l'instant pas attesté par les études fonctionnelles (Deschamps, 2014, p. 129).

#### À propos d'autres variantes du fendage

Les sources ethnographiques démontrent qu'après avoir initié une fente par percussion linéaire directe ou indirecte, il peut exister différentes manières de contrôler ou de provoquer le détachement de la matière. C'est ce que l'on observe auprès des Yupiit du Sud-Ouest de l'Alaska qui utilisent le couteau croche, dont l'extrémité proximale du manche est aplatie en biseau permettant son insertion dans une fente (Alix, 2007, p. 387). Ce manche était utilisé en pression linéaire pour détacher par exemple de fines baguettes de bois et permettait un bon contrôle du geste. Il peut également être nécessaire ou plus efficace d'utiliser cette technique par pression afin de fendre une grume de très gros diamètre. C'est ce qu'on fait les Quinault de la côte ouest de l'État de Washington (Olson, 1936, p. 66) ou encore les Tlingit de la côte nord-ouest pacifique d'Amérique du Nord (Stewart, 1984, p. 36), qui abattaient des cèdres rouges (*Thuja plicata*) de grand gabarit pour la production de planches utilisées en construction ou pour des canots. Cette essence d'arbre, d'excellente fissibilité, fait en effet généralement entre 40 m et 70 m de hauteur et 0,90 m à 1,50 m de diamètre à l'âge adulte (Collardet et Besset, 1988, p. 196-197). Hilary Stewart et Ronald L. Olson décrivent ainsi les étapes de débitage des planches par, respectivement, les Tlingit et les Quinault : création d'une fente par percussion indirecte, écartement progressif de la fente par insertion de coins puis, lorsque la fente est suffisamment écartée, insertion d'un long bâton placé perpendiculairement à l'axe du tronc et dépassant largement le diamètre de ce dernier. Deux hommes tiennent alors chacun une extrémité du long bâton et l'actionnent comme un levier pour faire filer la fente. Hilary Stewart (Stewart, 1984, p. 36) documente également une autre technique des Tlingit impliquant l'utilisation d'une pièce intermédiaire dont l'extrémité distale était concave pour pouvoir s'ajuster à la section du long bâton. Cette

pièce était ensuite percutée avec une masse en pierre pour faire avancer le bâton dans la fente afin de faire ouvrir cette dernière jusqu'au détachement de la planche.

## La flexion

### *Définition et principes mécaniques de la flexion*

La flexion est une technique qui, à la différence du fendage, agit de manière perpendiculaire aux fibres. Concernant les matières dures animales, Marianne Christensen rattache cette technique à un mode d'action qui est la pression statique (Christensen, 2016, p. 43). En effet, il s'agit d'exercer une flexion par une pression continue en deux ou plusieurs points fixes pour provoquer « une compression des fibres sur une face et un étirement sur l'autre. Cette pression force la matière à se déformer jusqu'à ce que ses fibres constituantes rompent » (Christensen, 2016, p. 43). On pourra considérer que cette description de la technique de flexion est également applicable au bois végétal qui peut se déchirer de la même manière.

En mécanique des bois, la flexion est une sollicitation majeure puisqu'elle peut être provoquée dès qu'une pièce de bois supporte une contrainte en sa partie centrale, l'exemple le plus explicite étant l'arc en extension, mais on pourrait aussi évoquer le cas des poutres de soutènement de charpente et les planchers. Rappelant la description de cette technique pour les matières dures animales, cette sollicitation est définie par un ensemble de contraintes : compression, tension et cisaillement. La première contrainte consiste en un écrasement des fibres, la seconde en un étirement et la troisième en un glissement parallèle d'une partie de la matière sur l'autre (Krotkine et Denancé, 2013, p. 55).

Pour fracturer un bois par flexion, l'effort est appliqué instantanément sur le bois et correspond donc à ce qui est appelé la flexion dynamique, en opposition à la flexion statique où l'effort croît de manière lente et constante comme dans le cas d'une poutre de soutènement de charpente (Krotkine et Denancé, 2013, p. 59). Le bois peut résister à l'effort de flexion grâce à ses propriétés élastiques. Celles-ci sont variables selon les essences et peuvent être calculées par le module de Young. Cependant lorsque les contraintes sont trop fortes, on atteint ce qui est appelé la limite d'élasticité. C'est au-delà de ce point que se situe la rupture du matériau, recherchée dans la technique de fracture par flexion. La résistance en flexion peut être calculée par le modèle de contrainte à la rupture exprimé en newtons par mètre ou millimètre carré ( $1\text{N/m}^2 = 1\text{ Pa}$ ,  $1\text{ N/mm}^2 = 1\text{ mégapascal}$  ou MPa ; Meyrueis *et al.*, 2004, p. 65). Par exemple, l'épicéa (*Picea abies*) a une résistance en flexion de 78 MPa, le hêtre commun (*Fagus sylvatica*) de 107 MPa et le frêne commun (*Fraxinus excelsior*) de 113 MPa (Gérard *et al.*, 2011). En comparaison, il est estimé que l'os compact de fémur de bovin a une résistance en flexion de 238 MPa et le bois de renne de 193,7 MPa sec et 145,1 MPa réhydraté

(Chen *et al.*, 2009). À diamètre égal, le bois est donc plus facile à fracturer par flexion que ne l'est le bois de renne et particulièrement l'os. Néanmoins, sans aide mécanique, il reste difficile de fracturer par flexion une grume (tronc ébranché) de gros diamètre.

De manière générale, outre la variabilité inter-espèce, plus le bois est dense, moins il est facile à fracturer par flexion. L'humidité dans le bois a, elle, une conséquence contraire, et à densité égale un bois humide est moins résistant à la rupture (Krotkine et Denancé, 2013, p. 46). D'autres aspects peuvent nuancer cet équilibre notamment l'homogénéité des éléments anatomiques du bois et la régularité de son fil (Collardet et Besset, 1988, p. 18).

### *L'emploi de la flexion*

La flexion est une technique ne nécessitant aucun outil particulier, et qui a certainement été utilisée pour une quantité de gestes quotidiens au Paléolithique. Il a été établi pour les matières dures animales que lors d'une rupture par flexion, plus les points de maintien sont éloignés plus la cassure présente un pan de fracture de grande amplitude, dite en languette ; plus ils sont rapprochés moins la fissure risque de filer et la cassure est alors en dent-de-scie (Rigaud, 2001). La rupture par flexion sur bois végétal, car il s'agit également d'un matériau fibreux, fait appel à la même logique mécanique et produit des pans de fracture de mêmes types. Dans tous les cas, l'usage de la flexion crée un pan de fracture irrégulier. En cela, cette technique est rarement intégrée directement à une chaîne opératoire de transformation du bois végétal (nous ne connaissons d'ailleurs aucun exemple). Il existe cependant des moyens de rendre la cassure par flexion plus contrôlable notamment en préparant des lignes de faiblesse, par exemple en réduisant le diamètre à l'endroit précis où l'on veut que les fibres du bois se déchirent. Ce type de préparation de la matière avant flexion a notamment été observé par Claire Alix (Alix, 1994 et 2001) sur des sites thuléens de l'arctique, pour la découpe des extrémités d'objets, comme des chevilles ou des hampes (fig. 4).

## LES ASSEMBLAGES EN BOIS VÉGÉTAL PALÉOLITHIQUES ET LA FRACTURATION

Les traces directes d'exploitation de bois végétal au Paléolithique sont rares et les séries mises au jour sont souvent difficiles à analyser pour des questions évidentes de conservation (surfaces altérées, pièces fracturées, etc.). Il est ainsi difficile d'évaluer le rôle réel du travail du bois à cette période, et plus encore la place de la fracturation *lato sensu* (cf. *supra*) dans le système technique. Toutefois ces dernières années, les découvertes d'assemblages de bois végétal bien conservés se multiplient (Aranguen *et al.*, 2018 ; Gaspari *et al.*, 2011 ; Nadel *et al.*, 2006 ; Rosendahl *et al.*, 2006 ; Rios-Garaizar *et al.*, 2018) et permettent de présenter un bilan des stigmates techniques observés sur le mobilier et les éventuelles indices de frac-

turation (par fendage et par flexion) du bois végétal en contexte paléolithique.

Les données sont plus nombreuses pour le Mésolithique, particulièrement en Europe septentrionale. Il s'agit à la fois d'éléments de construction, de navigation, mais également d'armes et d'outils variés (voir Guéret, 2013 pour une synthèse détaillée p. 356 et suivantes). Certains ont fait l'objet d'analyses technologiques pour comprendre les modalités de débitage et de façonnage du bois végétal : les pagaies et les plateformes constituées de planches de bois débités et fendus sur le site de Star Carr en Angleterre (Conneller *et al.*, 2012; High *et al.*, 2016); les éléments d'arcs, de hampes et de pointes de flèches à Holmegård I, II et IV au Danemark (David, 2004); les pieux et les pièges de vannerie à Dublin et à Clowanstown en Irlande (McQuade et O'Donnell, 2007); les nasses et la pirogue monoxyle de Noyen-sur-Seine en France (Mordant et Mordant, 1992) et enfin les pagaies de Duvensee en Allemagne (Bokelmann, 2012). Ce travail du bois végétal est également bien documenté au Néolithique et il existe aujourd'hui un large corpus de

bois conservés de cette période. Citons seulement les cas français les plus connus, comme les pirogues de Paris « Bercy » (Arnold, 1998) ou les restes de bois des sites palafittes des Alpes et du Jura (Baudais, 1987; Pétrequin, 1997; Pétrequin *et al.*, 2006).

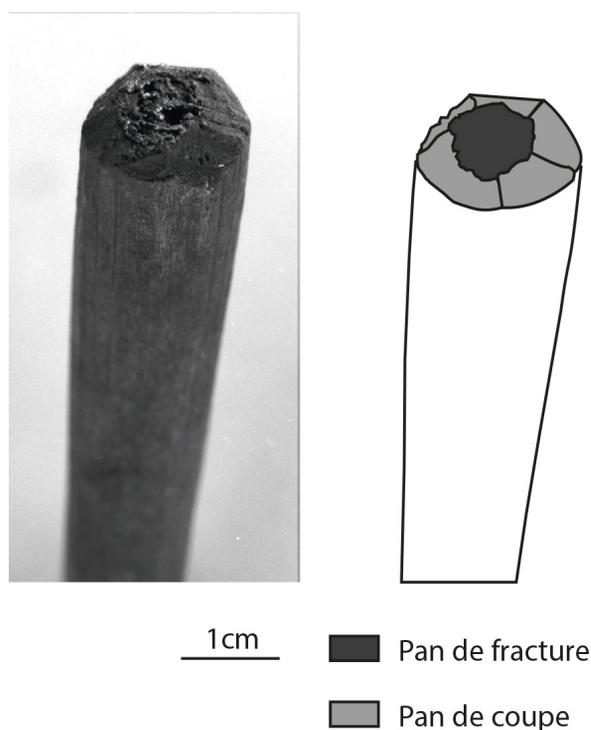
Ces gisements mésolithiques et néolithiques constituent des sources majeures pour l'élaboration de protocoles d'étude de bois paléolithiques et aussi pour tenter de mieux appréhender le panel des techniques de fracture du bois végétal.

Pour le Paléolithique, l'absence d'assemblages de bois a évidemment entraîné un retard dans la mise en place d'approches technologiques. Les modalités d'acquisition et d'exploitation du bois végétal par des techniques de fendage (directe ou indirecte) sont particulièrement mal connues à ces périodes. Le cas du site de Kalambo Falls (Zambie) attribué à l'Acheuléen en est une bonne illustration. L'étude du mobilier relève exclusivement d'une approche typologique, tandis que les processus à l'origine de la fragmentation de certaines pièces de bois ne sont jamais questionnés (Clark, 2000). Cette approche principalement typologique des collections de bois est fréquente pour les sites découverts avant les années 1990 (Movius, 1950; Fagan *et al.*, 1966; Freeman et Butzer, 1966; Mania et Toepfer, 1973; Oakley *et al.*, 1977; Tyldesley et Bahn, 1983; Gaudzinski *et al.*, 1996; Thieme, 1997; Mania et Mania, 1998). Ainsi, dans un premier temps, l'analyse fine des stigmates techniques sur les objets en bois a été peu entreprise ce qui n'a pas permis de collecter des données sur la fracturation *lato sensu* du bois végétal.

Plusieurs sites paléolithiques récemment publiés permettent d'identifier les techniques et les procédés de transformation du bois végétal par l'étude exhaustive des stigmates techniques conservés.

Le site de Florisbad (Paléolithique moyen) en Afrique du Sud (Clark, 1955; Bamford et Henderson, 2003) a été récemment republié et seules des traces de coupe (*cut marks*) localisées obliquement sur les bois sont signalées (Bamford et Henderson, 2003). Les épieux et les outils de Schöningen découverts en 1983 (Thieme, 1997 et 1999) ont fait l'objet d'études techniques récentes renseignant différents aspects de la chaîne opératoire de travail du bois végétal au Paléolithique inférieur (Thieme, 2000; Schmitt *et al.*, 2005; Bigga *et al.*, 2015; Schoch *et al.*, 2015; Stahlschmidt *et al.*, 2015). Les épieux sont façonnés sur de jeunes troncs d'épicéa de dimensions standardisées et des stigmates d'entaillage, de raclage et d'abrasion sont visibles aux extrémités (Schoch *et al.*, 2015). Aucun pan de fracture n'est cité. Ces différents auteurs mentionnent la présence de macro-restes de bois fracturés (déchets de fabrication de type copeaux ou esquilles), mais ils restent non étudiés pour le moment.

De même, sur le site moustérien Poggetti Vecchi, en Italie, cinquante-huit restes de bois (*Buxus sempervirens* L.) ont été découverts, dont trente-neuf ont été identifiés comme des outils. Il s'agit de branches droites qui ont été ébranchées et écorcées, et dont certaines ont eu une extrémité aménagée en pointe ou en zone de préhension



**Fig. 4** – Détail d'une extrémité de baguette rectiligne provenant d'un site thuléen du XI<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> siècle apr. J.-C. (OdPp-2, île Victoria, Arctique central canadien; tiré d'Alix, 1994, pl.10). Elle présente des pans de coupe produits lors de la préparation de la ligne de fracture; en sa partie centrale s'observe un pan de fracture produit par flexion (cliché G. Rousseau, musée de l'Homme; DAO G. Maerky).

**Fig. 4** – Detail of the end of a straight rod stemming from a 12th-14th century AD Thule site (OdPp-2, Victoria Island, central Canadian Arctic; after Alix, 1994, pl.10). It shows fracture planes produced during the preparation of the fracture line; a fracture plane stemming from bending can be observed in its central part (photo G. Rousseau, musée de l'Homme; CAD G. Maerky).

(Aranguren *et al.*, 2018). La chaîne opératoire de production, depuis l'acquisition des branchages jusqu'à l'objet façonné, a été reconstituée sans qu'aucune technique de fracture ni de pan de fracture ne soit mentionnée.

Ces objets ont été analysés par des moyens variés : scans 3D, enregistrements tomographiques, morphométriques et dendrologiques. Malgré cela, aucun pan de fracture, témoin de l'utilisation de techniques de fendage et de flexion, n'a été signalé à ce jour sur des restes de bois végétal du Paléolithique européen et africain. Ces absences peuvent être attribuées aux études limitées aux restes d'armes et aux objets typologiquement identifiables, laissant de côté les menus fragments de bois, car les pièces ne présentant *a priori* pas de marques évidentes d'outils (comme certains déchets) peuvent se révéler une source d'informations essentielles pour appréhender notamment la fracturation *lato sensu* du bois végétal.

Au Levant, le site acheuléen de Geshar Benot Ya'aqov (800-700 ka BP) dans la vallée du Jourdain a livré plus d'un millier de pièces de bois remarquablement conservées en milieu humide (Goren-Inbar *et al.*, 2002). Un certain nombre présente des fractures transversales et longitudinales à leur extrémité. Si un fort taux de fragmentation du bois végétal a pu être mis en évidence, aucune fracture anthropique n'a été identifiée et seuls deux artefacts portent des stigmates de polissage et d'entaillage (Belitzky *et al.*, 1991 ; Goren-Inbar *et al.*, 2002). Ces restes de bois ont été interprétés comme un dépôt naturel de bois flottés lacustres qui aurait fourni de la matière première végétale aux occupants du site, de façon occasionnelle et opportuniste.

En Amérique du Sud (Chili), le site de Monte Verde (18,5-14,5 ka cal. BP) est une source majeure pour appréhender la question de l'origine des stigmates techniques de débitage et de façonnage du bois (Dillehay, 1997). Il est intéressant de constater que des actions de flexion et de fendage ont été identifiées sur un certain nombre de pièces par des pans de fractures longitudinaux et transversaux et la présence de coins en bois végétal qui ont pu servir de pièces intermédiaires pour le fendage de branches sur le site tend à prouver l'utilisation de la fracturation *lato sensu* à Monte Verde (Dillehay, 1997, p. 147).

De ce bref bilan des études traitant plus généralement de la transformation du bois végétal en contexte paléolithique, il ressort une quasi-absence de cas de bois fracturés (fendage et flexion) et donc de techniques de fracturation *lato sensu*. Le plus souvent, les auteurs signalent simplement des extrémités cassées et des surfaces non naturelles, mais sans confirmer l'origine anthropique des marques observées. Hormis les défauts de conservation évidents, cette absence peut provenir de la difficulté d'identifier l'agent à l'origine de la fragmentation et les stigmates techniques de fendage et de flexion sur les menus pièces de bois. C'est à partir du Mésolithique que les techniques et les procédés de fracturation *lato sensu* du bois végétal sont documentées de manière régulière dans les assemblages. Ces objets et structures en bois végétal reflètent des modes de vie orientés vers une moins forte

mobilité pour certains groupes, comme ceux de Star Carr, ce qui peut expliquer l'investissement de gros volumes de bois (pirogues et structures en planches de bois débités) impliquant plus volontiers l'emploi de techniques de fracturation *lato sensu*.

## VERS UNE MÉTHODE D'IDENTIFICATION DE LA FRAGMENTATION DU BOIS VÉGÉTAL EN CONTEXTE PALÉOLITHIQUE

### La taphonomie du bois végétal

La taphonomie (du grec ancien τάφος/θάπτειν « sépulture/enfouir » et νόμος « loi »), dont la première définition a été donnée par I. A. Efremov en 1940, est la science « de l'enfouissement » et de l'étude des processus qui affectent les restes, de la mort de l'organisme jusqu'à leur découverte (Efremov, 1940 ; Brugal, 2017, p. 1 ; ici : fig. 5).

La taphonomie en archéologie du bois est une science récente en plein développement, ce qui explique le peu d'études sur cette question. Dans un premier temps, ce sont les conservateurs et les anatomistes qui se sont intéressés à l'action des processus naturels sur les bois archéologiques en se concentrant principalement sur les modifications cellulaires et morphologiques du bois (Boyd, 1988 ; Florian *et al.*, 1990 ; Evans *et al.*, 1992 ; Unger *et al.*, 2001).

Un chapitre de l'ouvrage *TaphonomieS* (Brugal, 2017) du Groupement de recherches 3591 est consacré à l'archéobotanique et aux différents biomarqueurs retrouvés en contexte archéologique dont le bois fait partie (Lebreton *et al.*, 2017). Il nous indique que l'impact des processus taphonomiques a principalement été étudié dans le cas d'assemblages de bois carbonisés associés à des problématiques relatives à la gestion des bois de feu (Lebreton *et al.*, 2017, p. 299-305).

Peu d'études traitent donc de l'impact des processus naturels sur des assemblages de bois végétal et elles sont encore plus rares à considérer l'origine des pans de fracture sur bois végétal. Pourtant, l'origine des fractures présentes sur des bois archéologiques pose question puisque les modifications morphologiques et surfaciques causées par des marqueurs taphonomiques sont susceptibles d'engendrer des pans de fracture similaires à ceux produits intentionnellement par l'homme et donc de conduire à des erreurs d'interprétations. Ce manque d'études taphonomiques rend difficile la distinction entre la fragmentation naturelle et la fracturation anthropique sur les collections de bois végétal paléolithiques.

Les sciences de l'ingénieur et forestières permettent de mettre en évidence les réactions naturelles du bois à la fragmentation. En effet, le bois végétal réagit différemment à la rupture mécanique selon la morphologie, la structure des éléments, la résistance mécanique et chimique des différents taxons et parties anatomiques (cf.

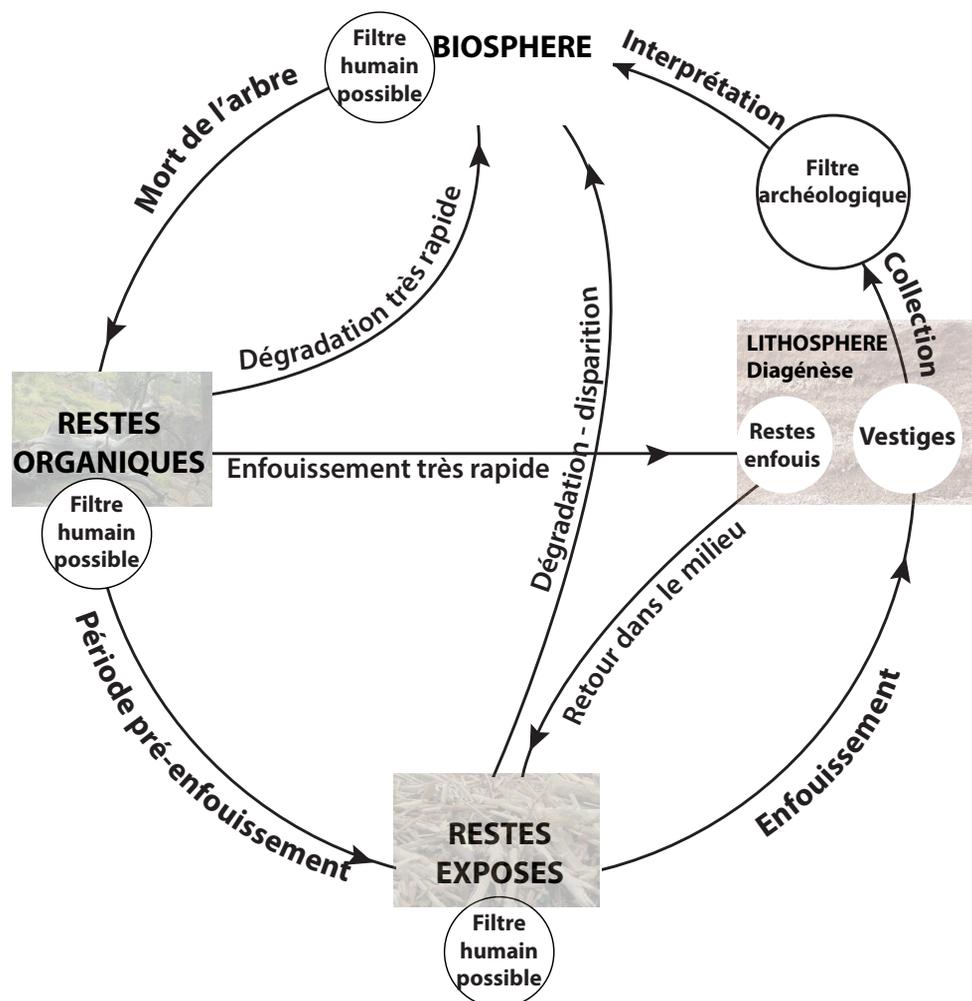
*supra*; Nadel *et al.*, 2006). Par exemple, le chêne et le hêtre présentent un fort retrait tandis que le peuplier ou le noyer très peu. Néanmoins, les sciences forestières et de l'ingénieur concernent surtout des essences commerciales et des échantillons très standardisés, ce qui rend difficiles les comparaisons avec des assemblages archéologiques.

La monographie du site de Monte Verde reste, à ce jour, la référence incontournable sur les processus taphonomiques du bois végétal et les questions concernant sa fracturation en contexte humide (cf. *supra*; Dillehay, 1997). Plusieurs chapitres sont dédiés à l'étude des bois archéologiques, à la reconnaissance des stigmates techniques et aux altérations taphonomiques (Dillehay, 1997, p. 119-220). Beaucoup d'altérations présentées ici sont issues de l'analyse de l'assemblage de Monte Verde et de leurs études néotaphonomiques (Dillehay, 1997).

### Les agents naturels de fragmentation du bois végétal

#### Météorisation (weathering)

L'exposition aux phénomènes météorologiques et à la lumière du soleil peut produire des traces variées (tabl. 1) : noircissement ou perte de couleur de la surface, micro-fissures et dépressions favorables à un développement fongique et bactérien pouvant alors produire ou aggraver la fissuration (Evans *et al.*, 1992; Unger *et al.*, 2001). Le *weathering* est responsable dans de nombreux cas d'une fragmentation du bois (fig. 6). En effet, toute fluctuation du taux d'humidité du bois, avant, pendant ou après l'enfouissement, peut provoquer des changements de volume. Dans des cas extrêmes, cela peut entraîner la formation de fentes ou des fissures profondes suivant le fil du bois (cf. *supra*; Dillehay, 1997, p. 125). Par ail-



**Fig. 5** – Schéma synthétique du paradigme taphonomique d'un fragment de bois du milieu duquel il provient (biosphère) jusqu'à son étude archéologique en mettant en évidence la perte d'informations à chacune des étapes. Ce schéma est adapté d'une figure de J.-P. Brugal (Brugal, 2017, p. 6, fig. 2) (DAO T. Chica-Lefort).

**Fig. 5** – Drawing describing the taphonomic paradigm of a wood fragment from its original environment (biosphere) up to its archaeological study, evidencing the loss of information at each stage. This drawing was adapted from a figure published by J.-P. Brugal (Brugal, 2017, p. 6, fig. 2) (CAD T. Chica-Lefort).

leurs, le gel peut être la cause de ruptures et d'éclatements du bois en créant des fentes dites « de gel », mais qui semblent facilement identifiables (Panshin et de Zeeuw, 1980, p. 321).

### Biodégradation

Les organismes de dégradation du bois (fig. 6) tels que les champignons, les bactéries, les insectes et les mollusques créent beaucoup de dégâts structurels facilement identifiables (Dillehay, 1997, p. 123 ; Unger *et al.*, 2001 ; ici : tabl. 1). Les champignons et les bactéries créent principalement des altérations observables au microscope. Ces organismes sont souvent à l'origine de fragilités dans le bois, qui associées à d'autres agents, peuvent entraîner une rupture qui crée alors un pan de fracture.

### Processus hydrauliques

L'action de l'eau peut être à l'origine de concentrations ou au contraire de dispersions des bois, d'altérations de surface par le détachement de l'écorce, de création de polis, d'appointements et d'émoussés causés par l'action des particules sédimentaires en suspension dans l'eau (Clark, 2000 ; Dillehay, 1997 ; Unger *et al.*, 2001 ; ici : tabl. 1). Une fragmentation peut aussi inter-

venir sous l'effet de mouvements des bois dans l'eau. L'alternance de phases d'immersion et d'émersion des bois peut également provoquer leur fragmentation naturelle.

### Piétinement

Les effets du piétinement des restes de bois de petites dimensions quel que soit l'agent (homme ou animal) sont un facteur important dans la fragmentation et la dispersion de ces restes (fig. 6). Ce phénomène est particulièrement important sur des bois déjà fragilisés antérieurement par des processus hydrauliques, biologiques et de météorisation.

### Altérations naturelles vs stigmates anthropiques : comment les discriminer

Pour différencier les stigmates techniques des macro-traces provoquées par des processus naturels, l'analyse détaillée à l'œil nu et à la loupe binoculaire est essentielle. Les conditions de fouilles, de prélèvements, de stockage et de conservation du mobilier ligneux sont autant de critères à prendre en considération, car ils peuvent impacter

Processus taphonomiques	Agents taphonomiques	Réponses
Météorisation	Vent	Abrasion de surface
	Gel	Cernes de gel (faux-cernes, fentes radiales de gel)
	UV	Changement de couleur de surface (grisâtre), noircissement des bois clairs, blanchissement des bois sombres, fissures et fentes le long du fil
	Précipitations	Gonflement du bois par temps humide et rétrécissement par temps sec : formation de reliefs, de fissures et de fentes le long du fil
Piétinement	Animaux, humains	Fractures, fractionnements et déplacements
Processus hydrauliques	Cours d'eau, lacs, ...	Transport, fractures, fragmentation, accumulation, tri, perte d'écorce, abrasion, poli, destruction
Agents biologiques	Champignons lignivores : général	Branches et racines en priorité, fractures
	Champignons : pourriture brune ( <i>brown rot</i> )	Marques cubiques, perte de résistance mécanique
	Champignons : pourriture blanche ( <i>white rot</i> )	Aspect fibreux et blanchâtre
	Champignons : pourriture molle ( <i>soft rot</i> )	Bois noirâtre et mou, pourriture cubique superficielle
	Champignons : pourriture rouge ( <i>red rot</i> )	Décoloration rougeâtre, bois mou et filandreux, surtout l'aubier
	Bactéries	Dégâts structurels (rayons, trachéides, ponctuations, ...) et moircissement des bois pour les bactéries anoxiques (pré-dépositionnel)
	Mollusques	Dégâts structurels et perforations
	Insectes xylophages (termites, scarabées, ...)	Digestion, dégâts structurels, pontes et larves dans le bois
	Mammifères xylophiles (rongeurs, castors, ragondins, ...)	Écorçage, marques de dents diagonales et transversales de mâchonnage, rongement, enlèvements et appointages
Diagénèse	Ph du sol	Dégâts structurels, dissolution
	Mouvements	Compression, déplacement, fractures changements de l'humidité (gonflement et rétrécissement) : déformation, fissures et fentes
	Poids	Compression, marques d'empreintes d'éléments

**Tabl. 1** – Description des différentes réponses du bois en contexte archéologique en fonction des agents taphonomiques (Colling, 2002 ; Dillehay, 1997 ; Florian *et al.*, 1990).

**Table 1** – Description of the various reactions of wood within an archaeological context depending on the taphonomic agents (Colling, 2002 ; Dillehay, 1997 ; Florian *et al.*, 1990).

à différents degrés l'analyse de ces assemblages (Lebreton *et al.*, 2017, p. 318).

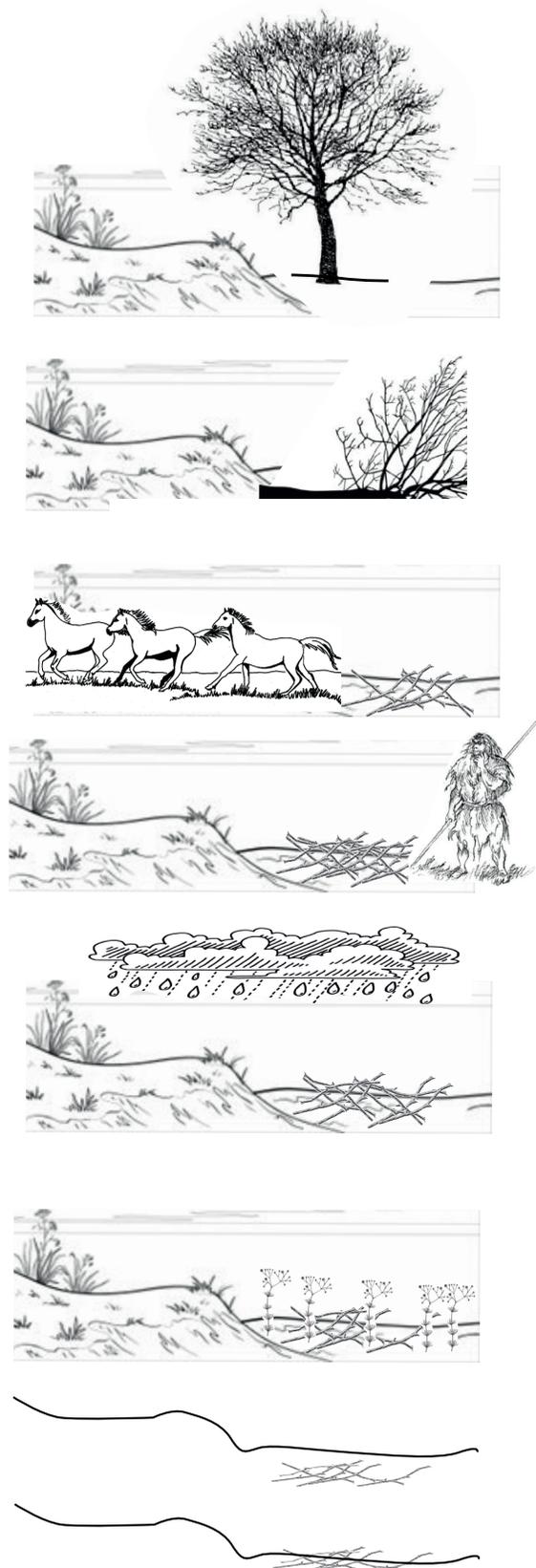
Il est nécessaire d'évaluer l'influence des processus taphonomiques dans un assemblage, cela passe, premièrement, par la reconnaissance des processus agissant avant, pendant et après l'enfouissement des bois au cours de l'histoire taphonomique des assemblages et, deuxièmement, par l'identification des altérations que ces processus peuvent causer aux bois (Lebreton *et al.*, 2017).

Tom D. Dillehay (Dillehay, 1997, p. 127) propose de distinguer dans un premier temps les marques assurément anthropiques de celles naturelles (décoloration, fentes radiales, rebroussements de fibres, « marques cubiques »<sup>(2)</sup> ou perforations profondes et irrégulières causées par des mollusques), en écartant les marques plus ambiguës (tabl. 1). Dans ce travail, la localisation et l'organisation des traces sont des critères importants, car les marques naturelles, à la différence des stigmates anthropiques, sont généralement distribuées aléatoirement à la surface ou sur les bords des objets.

L'écorçage, lorsqu'il relève d'une action humaine, peut être associé à des stigmates d'outils tels que des stries de raclage, des pans de coupe de décortiquage (*sensu* taille au canif, Averbouh, 2000) ou d'entaillage, tandis que l'écorçage d'un bois dans un objectif alimentaire par un animal, comme un rongeur, s'accompagne d'autres marques bien reconnaissables laissées par les incisives sur la surface du bois. Les traces laissées sont de courtes

**Fig. 6** – Séquence simplifiée des différents processus qui conduisent un fragment de bois végétal de la biosphère à la lithosphère jusqu'à sa découverte archéologique. L'histoire taphonomique n'étant pas linéaire, des processus conjoints sont envisageables (cf. fig. 5). De haut en bas : arbre vivant sur pied, arbre mort (à ce stade, il est possible qu'un agent hydraulique participe aux déplacements des bois), décomposition et piétinement (animal et humain), collecte et modifications anthropiques (chaîne opératoire d'acquisition, abattage; collecte, de transformation, d'utilisation/réaffûtage et d'abandon), agents atmosphériques (UV, gel, taux d'humidité, vent, précipitations, etc.), agents biologiques (agents de dégradation, par ex. champignons, mollusques, bactéries, insectes, plantes et début d'enfouissement), diagenèse (poids, pH, mouvement des sols, taux d'humidité et d'anoxie), érosion et découverte archéologique (sondage, fouille puis méthodes d'échantillonnage, d'analyse et interprétation). Schéma modifié d'après J.-P. Brugal (Brugal, 2017, p. 11, fig. 4) (DAO T. Chica-Lefort).

**Fig. 6** – This drawing shows a simplified sequence of the various processes acting on a wood fragment from the biosphere to the lithosphere, up to its archaeological discovery. The taphonomic history is not linear, but involves simultaneous processes (see fig. 5). From top to bottom: living tree, dead tree (possibly displaced by water), decay and trampling (animal and human), gathering and anthropic modifications (acquisition, transformation, use, re-use, and discard), weathering (UV, frost, humidity level, wind, rainfall, etc.), biological agents (fungi, bacteria, molluscs, insects, plants and incipient burying), diagenesis (weight, pH, soil movement, humidity level and anoxia), erosion and archaeological discovery (digging, methods of sampling and analysis, interpretation). Drawing modified after J.-P. Brugal (Brugal, 2017, p. 11, fig. 4) (CAD T. Chica-Lefort).



cannelures présentes en séries, parallèles entre elles, plus ou moins larges, à fond en « U », et qui sont obliques ou transversales aux fibres (observations de Tiphonie Chica-Lefort).

D'autres stigmates, tels que les stries, les fentes/fissures et les pans de fracture occasionnés par différents facteurs naturels (cf. tabl. 1) sont parfois difficiles à distinguer de leurs corollaires techniques et *vice versa*. C'est particulièrement le cas pour les fractures provoquées par des facteurs naturels mettant à profit les lignes de faiblesse du bois. Comme dans le cas précédent, c'est la localisation, l'organisation et la répétition qui constituent des indices nous permettant de discriminer les altérations naturelles des stigmates techniques (cf. *supra*).

L'établissement en parallèle de référentiels néotaphonomiques élaborés dans des contextes d'étude environnementaux similaires à ceux étudiés archéologiquement, constitue la solution privilégiée pour une meilleure compréhension de la fragmentation du bois et d'autres altérations provoquées en contexte naturel.

## CONCLUSION

La fracturation *lato sensu* du bois végétal par des techniques de fracture telles que le fendage et la flexion est finalement peu documentée pour les périodes du Paléolithique. Ces lacunes viennent principalement de la rapide dégradation des restes végétaux dans les sédiments, mais aussi de l'orientation des analyses ciblées sur l'identification des essences utilisées, les catégories d'objets typologiques et leur fonction, plutôt que sur la lecture technique des marques de travail. Ainsi, l'approche technologique des matières ligneuses reste un champ d'investigation encore sous exploité, à la différence des technologues et des taphonomistes des matières dures animales qui ont étudié, très tôt, les marqueurs taphonomiques pouvant être à l'origine des fractures hélicoïdales et des cassures horizontales présentes sur le mobilier paléolithique (Shipman et Rose, 1984; Johnson, 1985; Lyman, 1994; Fernández-Jalvo et Andrews, 2016; Brugal, 2017). Ils proposent des modèles conceptuels et analytiques pouvant être utiles à la mise en place d'une méthode adaptée aux particularités du bois végétal, bien que ces matériaux présentent des différences structurelles et mécaniques à prendre en considération (cf. *supra*).

De plus, il n'existe, à notre connaissance, aucune étude sur l'impact des milieux de conservation (tourbières, pergélisol, milieux désertiques et humides) sur la préservation des surfaces du bois, et donc sur leurs stigmates techniques. Enfin, il est possible que la « fracturation » *lato sensu* laisse des stigmates trop ambigus pour qu'une

lecture soit possible. La synthèse proposée ici sur les propriétés mécaniques du bois et les différentes techniques de fracture susceptibles d'avoir été appliquées à ce matériau ne peut qu'attirer l'attention du lecteur sur la rareté des pièces et des stigmates laissés par des techniques de fracture. Pendant de nombreuses années, les analyses traçéologiques des outils de travail ont été une des sources indirectes d'informations les plus importantes pour le Paléolithique. Pour autant, depuis quelques années, les objets et restes en bois, de plus en plus nombreux, issus de fouilles, sont appréhendés de manière globale, ce qui apporte des résultats encourageants pour mieux reconstituer les systèmes techniques de cette matière. Il n'en demeure pas moins que, pour les contextes paléolithiques, les macrorestes de bois présentent peu de modifications et sont, de ce fait, très souvent écartés des analyses. L'analyse taphonomique des processus de conservation des assemblages et l'expérimentation sont au cœur de ces renouvellements méthodologiques, dont la généralisation débouchera, nous l'espérons, sur un ensemble de connaissances concernant les systèmes techniques de travail du bois au Paléolithique.

**Remerciements** : Nos remerciements vont à Marianne Christensen (UMR 7041, maître de conférences de l'université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne) et Nejma Goutas (UMR 7041, chargée de recherche, CNRS) pour leur confiance et leurs relectures du présent article et à Claire Alix (UMR 8096, maître de conférences de l'université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne) pour ses conseils avisés qui ont été un tremplin indispensable à sa rédaction. Nous adressons également nos remerciements à Patrick Langbour (chercheur, unité de recherche BioWooEB, CIRAD), pour ses corrections concernant la partie de mécanique des bois. Enfin, nous remercions Florian Muller pour son aide avec la langue anglaise.

## NOTES

- (1) « Les nombreuses hampes retrouvées sur le site d'Ahrensburg/Stellmoor témoignent de l'utilisation de bois de cœur [ou duramen] de pin dès le Paléolithique final et par conséquent, que l'on connaissait déjà la difficile obtention de cette matière première par un habile travail de fendage à l'aide d'outils en silex simples. » (Beckhoff, 1965).
- (2) Les marques cubiques sont causées par un champignon lignivore (la mэрule ou pourriture brune ou cubique) qui s'attaque à la cellulose présente dans le bois, ne laissant ainsi que la trame de la lignine qui donne l'apparence d'une surface divisée en autant de formes cubiques (Florian *et al.*, 1990, p. 22).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALÉON D. (2013) – Propriétés hygrosopiques et physiques du bois, in Collectif (dir.), *Manuel de l'ingénierie bois : pense précis bois*, Paris, Eyrolles, p. 2741.
- ALIX C. (1994) – *L'utilisation du bois par les Thuléens (site OdPp-2, île Victoria, Arctique central canadien). Approche morphotechnique d'une collection*, mémoire de DEA, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 59 p.
- ALIX C. (2001) – *Exploitation du bois par les populations néo-eskimo entre le nord de l'Alaska et le haut Arctique canadien*, thèse de doctorat, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, Paris, 611 p.
- ALIX C. (2007) – Ethnoarchéologie de la production des objets en bois dans l'Arctique nord-américain, in S. Beyries et V. Vaté (dir.), *Les Civilisations du renne d'hier et d'aujourd'hui. Approches ethnohistoriques, archéologiques et anthropologiques*, actes des XXVII<sup>es</sup> Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire (Antibes, 19-21 octobre 2006), Antibes, APCDA, p. 377-391.
- ALIX C. (2016) – A Critical Resource: Wood Use and Technology in the North American, in T. M. Friesen et O. K. Mason (dir.), *The Oxford Handbook of Prehistoric Arctic*, Oxford, University Press, p. 109-130.
- ARANGUREN B., REVEDIN A., AMICO N., CAVULLI F., GIACCHI G., GRIMALDI S., MACCHIONI N., SANTANIELLO F. (2018) – Wooden Tools and Fire Technology in the Early Neanderthal Site of Poggetti Vecchi (Italy), *PNAS*, 115, 9, p. 2054-2059.
- ARNOLD B. (1998) – Les pirogues néolithiques de Paris-Bercy. Traces de travail et techniques de façonnage, *Archaeonautica*, 14, 1, p. 73-78.
- AVERBOUH A. (2000) – *Technologie de la matière osseuse travaillée et implications paléolithiques : l'exemple des chaînes d'exploitation du bois de cervidé chez les Magdaléniens des Pyrénées*, thèse de doctorat, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, Paris, 253 et 247 p.
- BALIKCI A., BROWN Q. (1967) – *Bulding a kayak*, film, 55 min.
- BAMFORD M. K., HENDERSON Z. L. (2003) – A Reassessment of the Wooden Fragment from Florisbad, South Africa, *Journal of Archaeological Science*, 30, 6, p. 637-650.
- BAUDAIS D. (1987) – Les manches en bois dans le Néolithique du Jura, in D. Stordeur (dir.), *La main et l'outil : manches et emmanchements préhistoriques*, actes de la table ronde (Lyon, 26-29 novembre 1984), Lyon, Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean-Pouilloux (Travaux de la Maison de l'Orient, 15), p. 197-209.
- BECKHOFF K. (1965) – Eignung und Verwendung einheimischer Holzarten für prähistorische Pfeilschäfte, *Die Kunde*, 16, p. 51-61.
- BELITZKY S., GOREN-INBAR N., WERKER E. (1991) – A Middle Pleistocene Wooden Plank with Man-Made Polish, *Journal of Human Evolution*, 20, 4, p. 349-353.
- BIGGA G., SCHOCH W. H., URBAN B. (2015) – Paleoenvironment and Possibilities of Plant Exploitation in the Middle Pleistocene of Schöningen (Germany). Insights from Botanical Macro-Remains and Pollen, *Journal of Human Evolution*, 89, p. 921-104.
- BIRKET-SMITH K. (1953) – *The Chugach Eskimo*, Copenhagen, Nationalmuseets Publikationsfond, 261 p.
- BOKELMANN K. (2012) – Spade Paddling on a Mesolithic Lake. Remarks on Preboreal and Boreal sites from Duvensee (Northern Germany), in M. J. L. T. Niekus, R. N. E. Barton, M. Street et T. Terberger (dir.), *A Mind Set on Flint: Studies in Honour of Dick Stapert*, Groningue, Barkhuis, p. 369-380.
- BOURA A. (2009) – *Analyse intra-cerne de quelques espèces d'arbres : paramètres individuels, spécifiques et climatiques*, thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 38 p.
- BOYD W. E. (1988) – Methodological Problems in the Analysis of Fossil Non-Artifactual Wood Assemblages from Archaeological Sites, *Journal of Archaeological Science*, 15, 6, p. 603-619.
- BRUGAL J.-P. (2017) – *TaphonomieS. Ouvrage du Groupement de recherches 3591 « Taphonomie, Environnement et Archéologie »*, Paris, CNRS, 544 p.
- CHEN P. Y., STOKES A. G., MCKITTRICK J. (2009) – Comparison of the Structure and Mechanical Properties of Bovine Femur Bone and Antler of the North American Elk (*Cervus elaphus canadensis*), *Acta Biomaterialia*, 5, 2, p. 693-706.
- CHRISTENSEN M. (1999) – *Technologie de l'ivoire au Paléolithique supérieur : caractérisation physico-chimique du matériau et analyse fonctionnelle des outils de transformation*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 751), 201 p.
- CHRISTENSEN M. (2016) – *L'industrie osseuse des chasseurs-cueilleurs : le cas des nomades marins de Patagonie et de Terre de Feu*, Punta Arenas, Universidad de Magallanes (Colección poblamiento humano de Fuego-Patagonia), 308 p.
- CLARK J. D. (1955) – A Note on a Wooden Implement from the Level of Peat I at Florisbad, Orange Free State, *Navorsinge van die Nasionale Museum: Researches of the National Museum*, 1, 6, p. 135-140.
- CLARK J. D. (2000) – *Kalambo Falls Prehistoric Site, 3. The Earlier Cultures: Middle and Earlier Stone Age*, Cambridge, Cambridge University Press, 704 p.
- COLLARDET J., BESSET J. (1988) – *Les bois commerciaux et leurs utilisations, I. Les résineux (conifères)*, Dourdan, H. Vial et Paris, CtBA, 276 p.
- COLLING C. (2002) – *Les champignons du bois*, Strasbourg, Lycée Couffignal, 5 p.
- CONNELLER C., MILNER N., TAYLOR B., TAYLOR M. (2012) – Substantial Settlement in the European Early Mesolithic: New Research at Star Carr, *Antiquity*, 86, 334, p. 1004-1020.
- CURREY J. D. (2002) – *Bones: Structure and Mechanics*, Princeton, Princeton University Press, 436 p.

- DAVID É. (2004) – *Technologie osseuse des derniers chasseurs préhistoriques en Europe du Nord (X<sup>e</sup>-VIII<sup>e</sup> millénaires avant J.C.). Le Maglémorien et les technocomplexes du Mésolithique*, thèse de doctorat, université Paris X, Nanterre, 667 p.
- DESCHAMPS M. (2014) – *La diversité culturelle au Paléolithique moyen récent : le Vasconien et sa signification au sein des faciès moustériens*, thèse de doctorat, université Toulouse 2 – Le Mirail, 583 p.
- DILLEHAY T. D. (1997) – *Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile. The Archaeological Context and Interpretation*, Washington, Smithsonian Institution Press, 1080 p.
- DINWOODIE J. M. (2000) – *Timber: its Nature and Behaviour*, Londres, E & F. N. Spon, 256 p.
- DULBECCO P., LURO D. (1998) – *L'essentiel sur le bois*, Paris, CtBA, 184 p.
- EFREMOV I. A. (1940) – Taphonomy: New Branch of Paleontology, *Pan-American Geologist*, 74, 2, p. 81-93.
- EMMONS G. T. (1991) – *The Tlingit Indians*, Washington, University of Washington Press, 488 p.
- EVANS P. D., MICHELL A. J., SCHMALZL K. J. (1992) – Studies of the Degradation and Protection of Wood Surfaces, *Wood Science and Technology*, 26, 2, p. 151-163.
- FAGAN B. M., VAN NOTEN F. L., VYNCKIER J. (1966) – Wooden Implements from Late Stone Age Sites at Gwisho Hot Springs, Lochinvar, Zambia, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 32, p. 246261.
- FERNÁNDEZ-JALVO Y., ANDREWS P. (2016) – *Atlas of Taphonomic Identifications: 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification*, Dordrecht, Springer (Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Series), 359 p.
- FLORIAN M.L. E., KRONKRIGHT D. P., NORTON R. E. (1990) – *The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials*, Princeton, Princeton University Press, 348 p.
- FREEMAN L., BUTZER K. W. (1966) – The Acheulean Station of Torralba (Spain): a Progress Report, *Quaternaria*, 8, p. 921.
- GASPARI A., ERIČ M., ODAK B. (2011) – A Palaeolithic Wooden Point from Ljubljansko Barje, Slovenia, in J. Benjami, C. Bonsall, C. Pickard et A. Fischer (dir.), *Submerged Prehistory*, Oxford, Oxbow, p. 186-192.
- GAUDZINSKI S., BITTMANN F., BOENIGK W., FRECHEN M., KOLFSCHOTEN T. V. (1996) – Palaeoecology and Archaeology of the Kärlich-Seeufer Open-Air Site (Middle Pleistocene) in the Central Rhineland, Germany, *Quaternary Research*, 46, 3, p. 319-334.
- GÉRARD, J., GUIBAL, D., PARADIS, S., VERNAY, M., BEAUCHÊNE, J., BRANCHERIAU, L., THIBAUT, A. (2011) – *Tropix 7*, CIRAD, <https://doi.org/10.18167/74726f706978>
- GOREN-İNBAR N., WERKER E., FEIBEL C. S. (2002) – *The Acheulian site of Gesher Benot Ya'akov, Israel: The Wood assemblage*, vol. 1, Oxford, Oxbow Books (Gesher Benot Ya'akov Monograph Series), 137 p.
- GOUTAS N., CHRISTENSEN M. avec la collaboration de TARTAR E., MALGARINI R., TEJERO J.-M., TREUILLOT J. (ce volume) – Extraction, partition, réduction ou fracturation? De quoi parlons-nous? Discussion sur la production de supports allongés (baguette, éclat baguettaire vs éclat), in M. Christensen et N. Goutas (dir.), « À coup d'éclats! » *La fracturation des matières osseuses en Préhistoire : discussion autour d'une modalité d'exploitation en apparence simple et pourtant mal connue*, actes de la séance de la Société préhistorique française (Paris, 25 avril 2017), Paris, SPF (Séances de la Société préhistorique française, 13), p. 55-97.
- GRØNNOW B. (2012) – An Archaeological Reconstruction of Saqqaq Bows, Darts, Harpoons, and Lances, *Études/Inuit/Studies*, 36, 1, p. 2348.
- GUÉRET C. (2013) – *L'outillage du premier Mésolithique dans le Nord de la France et en Belgique. Éclairages fonctionnels*, thèse de doctorat, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 473 p.
- GUSINDE M. (1937) – *Die Feuerland Indianer: Ergebnisse meiner vier Forschungsreisen in den Jahren 1918 bis 1924, unternommen im Auftrage des Ministerio de Instrucción Pública de Chile, II. Die Yamana, vom Leben und Denken der Wassernomaden am Kap Hoorn*, Mödling bei Wien, Anthropos, 1500 p.
- HIGH K., MILNER K., PANTER I., DEMARCHI B., PENKMAN K. (2016) – Lessons from Star Carr on the Vulnerability of Organic Archaeological Remains to Environmental Change, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 46, p. 12957-12962.
- HONIGMANN J. J. (1954) – *The Kaska Indians: an Ethnographic Reconstruction*, New Haven, Yale University Press, 163 p.
- HYADES P., DENIKER J. (1891) – *Mission scientifique du cap Horn, 1882-1883*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 422 p.
- JOHNSON E. (1985) – Current Developments in Bone Technology, *Advances in Archaeological Method and Theory*, 8, p. 157-235.
- KROTKINE G., DENANCÉ M. (2013) – Propriétés mécaniques du bois et des matériaux dérivés, in *Manuel de l'ingénierie bois : pense précis bois*, Paris, Eyrolles, p. 43-71.
- LAVIER C. (2013) – Dendrochronologie et archéodendrométrie, évolution et développements, in F. Janot, G. Giuliano et D. Morin (dir.), *Indices et traces : la mémoire des gestes*, actes du colloque international (Nancy, 19-23 juin 2011), Nancy, Éditions universitaires de Lorraine, p. 257-295.
- LAVIER C., BOREL T., VIGÉARS D. (2009) – Tracéologie appliquée aux objets et œuvres d'art en bois des musées de France. Premiers exemples d'adaptations, de développements techniques et de résultats au sein du C2RMF, *Techne*, 29, p. 15-20.
- LEBRETON V., THÈRY-PARISOT I., BOUBY L., CHRZAVZEZ J., DELHON C., RUAS M.-P. (2017) – Archéobotanique et taphonomie, in J.-P. Brugal (dir.), *TaphonomieS. Ouvrage du Groupement de recherches 3591 « Taphonomie, Environnement et Archéologie »*, Paris, CNRS, p. 291-328.
- LINTON R. (1923) – *The Material Culture of the Marquesas Islands*, Hawaii, Bishop Museum Press, 211 p.
- LYMAN R. L. (1994) – *Vertebrate Taphonomy*, Cambridge, Cambridge University Press (Cambridge Manuals in Archaeology), 576 p.

- MANIA D., TOEPFER V. (1973) – *Königsau: Gliederung, Ökologie und mittelpaläolithische Funde der letzten Eiszeit*, Berlin, Deutscher Verlag der Wissenschaften (Veröffentlichungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 26), 164 p.
- MANIA D., MANIA U. (1998) – Geräte aus Holz von der altpaläolithischen Fundstelle bei Bilzingsleben, *Praehistoria Thuringica*, 2, p. 32-72.
- MCQUADE M., O'DONNELL L. (2007) – Late Mesolithic Fish Traps from the Liffey Estuary, Dublin, Ireland, *Antiquity*, 81, p. 569-584.
- MEYRUEIS P., CAZENAVE A., ZIMMERMANN R. (2004) – Biomecanique de l'os. Application au traitement des fractures, *EMC - Rhumatologie-Orthopédie*, 1, 1, p. 64-93.
- MORDANT D., MORDANT C. (1992) – Noyen-sur-Seine: a Mesolithic Waterside Settlement, in C. Bryony (dir.), *The Wetland Revolution in Prehistory*, actes du colloque international (Exeter, 5-7 avril 1991), Exeter, Prehistoric Society et WARP (WARP Occasional Papers, 6), p. 55-64.
- MOVIUS H. L. J. (1950) – A Wooden Spear of Third Interglacial Age from Lower Saxony, *Southwestern Journal of Anthropology*, 6, 2, p. 139-142.
- NADEL D., GRINBERG U., BOARETTO E., WERKER E. (2006) – Wooden Objects from Ohalo II (23,000 cal. BP), Jordan Valley, Israel, *Journal of Human Evolution*, 50, 6, p. 644-662.
- NELSON E. W. (1900) – *The Eskimo about Bering Strait*, Washington, US Government printing office, 518 p.
- NOSHIRO S., SUZUKI M., YAMADA M. (1992) – Species Selection for Wooden Artefacts by Prehistoric and Early Historic People in the Kanto Plain, Central Japan, *Journal of Archaeological Science*, 19, 4, p. 429-443.
- OAKLEY K. P., ANDREWS P., KEELEY L. H., CLARK J. D. (1977) – A Reappraisal of the Clacton Spearpoint, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 43, p. 13-30.
- OLSON R. L. (1936) – *The Quinault Indians*, Seattle, University of Washington (University of Washington Publications in Anthropology, 6), 194 p.
- OSGOOD C. (1970) – *Ingalik Material Culture*, New Haven, Human Relations Area Files Press, 500 p.
- PANSHIN A. J., DE ZEEUW C. (1980) – *Textbook of Wood Technology*, New York, McGraw-Hill, 772 p.
- PÉTREQUIN P. (1997) – *Les sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs et de Chalain (Jura) : Chalain station 3, 3200-2900 av. J.-C.*, vol. 3, Paris, MSH, 766 p.
- PÉTREQUIN P., MAGNY M., BAILLY M. (2006) – Habitat lacustre, densité de population et climat : l'exemple du Jura français, in P. Della Casa et M. Trachsel (dir.), *Wetland Economies and Societies*, actes du colloque international (Zurich, 10-13 mars 2004), Zurich, Chronos (Collectio Archaeologica, 3), p. 143-168.
- PILLONEL D. (2007) – *Hauterive-Champréveyres 14. Technologie et usage du bois au Bronze final*, Neuchâtel, Office et musée cantonal d'archéologie (Archéologie neuchâteloise, 37), 376 p.
- RECORD S. J. (1914) – *The Mechanical Properties of Wood, Including a Discussion of the Factors Affecting the Mechanical Properties, and Methods of Timber Testing*, New York, J. Wiley & Sons, 165 p.
- REICHE I., CHADEFaux C. (2015) – *Bois de cervidé*, in M. Balasse, J.-P. Brugal, Y. Dauphin, E. M. Geigl, C. Oberlin et I. Reiche (dir.), *Messages d'os : archéométrie du squelette animal et humain*, Paris, Archives contemporaines (Sciences archéologiques), p. 43-51.
- RIGAUD A. (2001) – Les bâtons percés : décors énigmatiques et fonction possible, *Gallia Préhistoire*, 43, 1, p. 101-151.
- RIOS-GARAIZAR J., LÓPEZ-BULTÓ O., IRIARTE E., PÉREZ-GARRIDO C., PIQUÉ R., ARANBURU A., IRIARTE-CHIAPUSSO M. J., ORTEGA-CORDELLAT I., BOURGUIGNON L., GARATE D., LIBANO I. (2018) – A Middle Palaeolithic Wooden Digging Stick from Aranbaltza III, Spain, *PLoS ONE*, 13, 3, 15 p. [DOI : e0195044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195044>].
- ROSENDAHL G., BEINHAEUER K.-W., LÖSCHER M., KREIPL K., WALTER R., ROSENDAHL W. (2006) – Le plus vieil arc du monde? Une pièce intéressante en provenance de Mannheim, Allemagne, *L'Anthropologie*, 110, 3, p. 371-382.
- SCHMITT U., SINGH A. P., THIEME H., FRIEDRICH P., HOFFMANN P. (2005) – Electron Microscopic Characterization of Cell Wall Degradation of the 400,000-Year-Old Wooden Schöningen Spears, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 63, 2, p. 118-122.
- SCHOCH W. H., BIGGA G., BÖHNER U., RICHTER P., TERBERGER T. (2015) – New Insights on the Wooden Weapons from the Paleolithic Site of Schöningen, *Journal of Human Evolution*, 89, p. 214225.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1978) – *Mikroskopische Holz Anatomie: Formenspektren mitteleuropäischer Stamm- und Zweighölzer zur Bestimmung von rezentem und subfossilem Material = Anatomie microscopique du bois : identification de matériel récent et subfossile d'essences de l'Europe centrale en tenant compte de la variabilité de structure du bois de tronc et de branche = Microscopic wood anatomy : structural variability of stems and twigs in recent and subfossil woods from Central Europe*, Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 226 p.
- SHIPMAN P., ROSE J. J. (1984) – Cutmark Mimics on Modern and Fossil Bovid Bones, *Current Anthropology*, 25, 1, p. 116117.
- SOFFER O., ADOVASIO J. M., ILLINGWORTH J. S., AMIRKHANOV H. A., PRASLOV N. D., STREET M. (2000) – Palaeolithic Perishables Made Permanent, *Antiquity*, 74, p. 812-821.
- STAHLSCHEIDT M. C., MILLER C. E., LIGOUIS B., HAMBACH U., GOLDBERG P., BERNA F., RICHTER D., URBAN B., SERANGELI J., CONARD N. J. (2015) – On the Evidence for Human Use and Control of Fire at Schöningen, *Journal of Human Evolution*, 89, p. 181-201.
- STEWART H. (1984) – *Cedar: Tree of Life to the Northwest Coast Indians*, Seattle, University of Washington Press, 192 p.
- THÉRY-PARISOT I., HENRY A., CHRZAVZEZ J. (2016) – Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : gestion et utilisation du bois de feu

dans les sociétés préhistoriques, *Cadernos do LEPAARO*, 13, 25, p. 485-509.

THIEME H. (1999) – Altpaläolithische Fundplätze mit Jagdbeutereisen und Holzgeräten im Tagebau Schöningen, Ldkr. Helmstedt, in M. Kokabi et E. May (dir.), *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie*, 2, Stuttgart, Konrad Theiss, p. 36-45.

THIEME H. (1997) – Lower Palaeolithic Hunting Spears from Germany, *Nature*, 385, 6619, p. 807-810.

THIEME H. (2000) – Lower Paleolithic Hunting Weapons from Schöningen, Germany: the Oldest Spears in the World, *Acta Anthropologica Sinica*, 19, p. 140-147.

TSOUMIS G. T. (1991) – *Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization*, New York, Van Nostrand Reinhold, 494 p.

TYLDESLEY J. A., BAHN P. G. (1983) – Use of Plants in the European Palaeolithic: a Review of the Evidence, *Quaternary Science Reviews*, 2, 1, p. 53-81.

UNGER A., SCHNIEWIND A., UNGER W. (2001) – *Conservation of Wood Artifacts: a Handbook*, New York, Springer, 578 p.

**Tiphany CHICA-LEFORT**

Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne

et UMR 7041 ArScAn

Ethnologie préhistorique

3, rue Michelet, F-75006 Paris

[tiphany.chica-lefort@malix.univ-paris1.fr](mailto:tiphany.chica-lefort@malix.univ-paris1.fr)

**Gisèle MAERKY**

Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne

et UMR 7041 ArScAn

Ethnologie préhistorique

3, rue Michelet, F-75006 Paris

[gisele.maerky@gmx.fr](mailto:gisele.maerky@gmx.fr)