

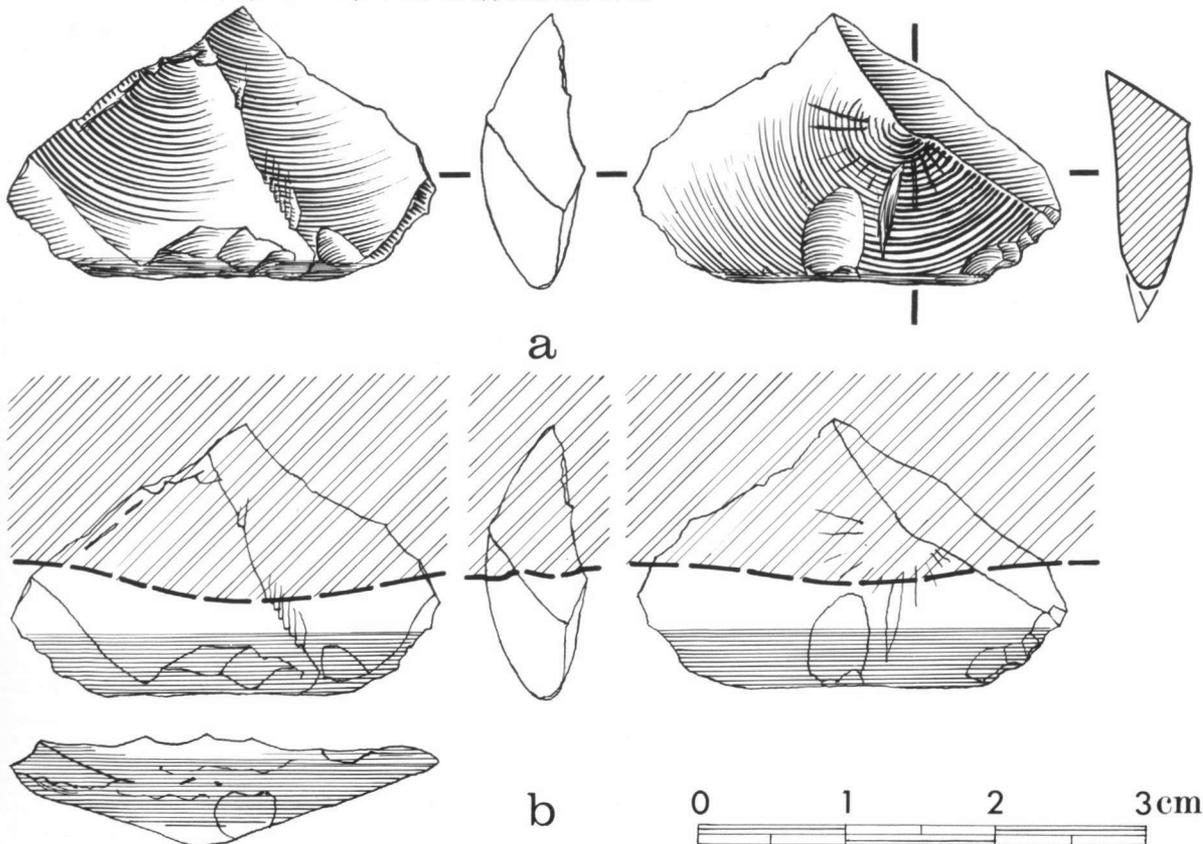
Microfractographie des silex de tribulum: usure et microfissures de fatigue

Michel Dauvois

Le tribulum, traîneau de bois à dépiquer les céréales, large d'environ 0 m 80, long de 1 m 50 à 2 m, est équipé, à sa partie inférieure de rangées d'éclats de silex, voire de courtes lames, dont le nombre peut atteindre plusieurs centaines. Ces éclats sont insérés à force dans les rainures du bois de telle sorte que le talon, généralement très épais par rapport à la longueur de l'éclat, pénètre le bois et y soit bien coincé afin qu'il ne se déloge pas durant le déplacement du tribulum (Fig. 1, exemple rare où un silex est représenté dans sa position réelle de travail). Il arrive qu'en raison de sa morphologie, un éclat présente une épaisseur maximale en dehors de la zone talon-bulbe, en ce cas c'est la partie la plus épaisse qui est insérée dans le bois et le bulbe situé dans la zone active de l'éclat. Tiré par un cheval, un mulet ou un âne, le tribulum se déplace sur une aire constituée d'une surface rocheuse naturelle dans le meilleur des cas, sinon pavée ou dallée, en tous cas le plus dur possible. Les gerbes sont éparpillées et les arêtes des éclats disposés en ligne sous le tribulum font sortir les graines des épis. Le conducteur dirige l'attelage soit debout soit assis sur le traîneau, ou encore en courant à côté, en ce cas des pierres lestent le traîneau. L'usage du tribulum répandu depuis la plus haute antiquité dans les régions circumméditerranéennes, l'Asie Mineure et au delà, n'a cessé dans certaines de ces contrées que depuis une décennie ou deux, encore qu'on le voit en activité çà et là. Quelques lames de fer peuvent remplacer le silex en tête des lignes d'éclats, lesquels peuvent être tout aussi bien en chaille, en quartzite, en quartz, etc.

Les éclats étudiés ici proviennent d'un tribulum de Mata de Ledesma près de Salamanca, province de Léon, Espagne*, ils sont généralement en chaille. Ils ont servi principalement au dépiquage du blé et de l'avoine entre les années 60 et 70. Ce tribulum effectuait un mouvement circulaire, à l'inverse des aiguilles d'une montre, sur une aire caillouteuse.

Fig. 1 - Eclat de chaille armant un tribulum de Mata de Ledesma, près de Salamanca, Espagne. 1a: - en traits interrompus courts limite d'insertion de l'éclat dans le bois du tribulum. La convexité de cette limite s'explique par le refoulement du bois lors de l'enfoncement à force. Les lignes parallèles hachurant la partie active de l'éclat de tribulum indiquent l'étendue de l'abrasion, dont la zone plus intense apparaît déjà en 1a.



L'arête agissante de l'éclat inséré se trouve sensiblement à la même hauteur que les arêtes agissantes des autres éclats ce qui répartit l'effort de compression et fragilise moins chaque arête. Les tiges posées au sol exercent un freinage en introduisant un coefficient de résistance à la translation guidée du tribulum. Cette translation pourrait être assimilée à un mouvement rectiligne si elle était parfaitement uniforme, en fait des changements de direction sensibles s'opèrent afin de bien parcourir toute l'aire. En raison de l'inégalité de planéité de l'aire, de celle de la masse des gerbes éparpillées et des mouvements du tribulum (lequel doit être mené assez vite), la résultante des forces concourantes est variable

$$\frac{F'}{\sin a} = \frac{F}{\sin b} = \frac{R}{\sin c}$$

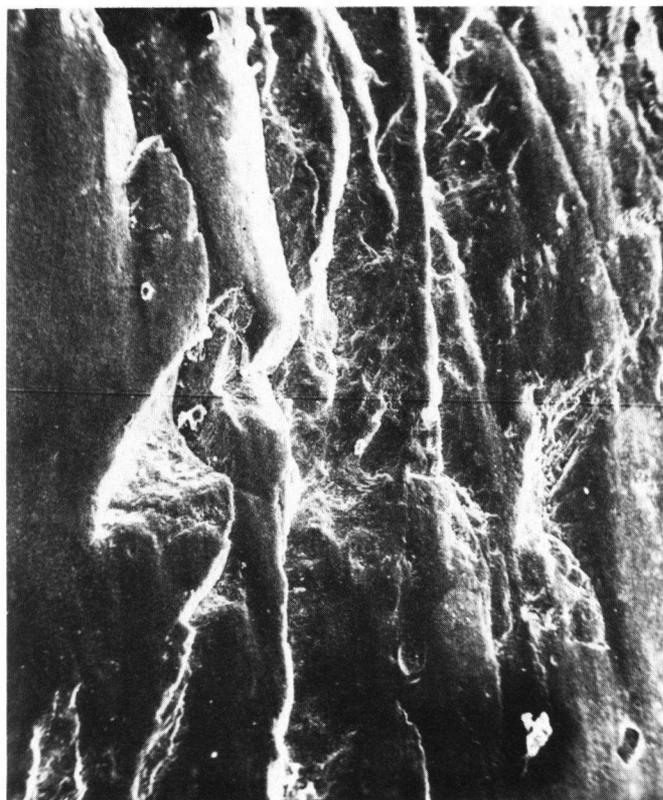
Si les forces en présence sont perpendiculaires la résultante est: $R = \sqrt{F^2 + F_1^2}$ où $F = R \sin a = F_1 \operatorname{tg} a$, $F_1 = R \cos a = F \operatorname{cotg} a$.

Chaque éclat est soumis à des efforts variables et répétés. Chaque changement de direction entraîne un changement de direction et de répartition des contraintes affectant l'éclat inséré. L'arête active neuve de cet éclat ne garde pas longtemps le fil de son tranchant. Son usure se présente sous deux formes: enlèvements de petits éclats, d'écaillés le «retouchant» et abrasion. Des deux groupes de phénomènes c'est l'abrasion qui donne cet aspect arrondi et relativement brillant à cette partie de la pièce, l'abrasion répétée conduit au polissage. Son orientation est soulignée par des rayures visibles aussi bien sur l'arête elle-même maintenant très arrondie, que sur les faces supérieure et inférieure de la pièce dans la zone active (Fig. 1). La majorité de ces striures parallèles mesurent quelques centièmes de millimètre de large (Fig. 2a)

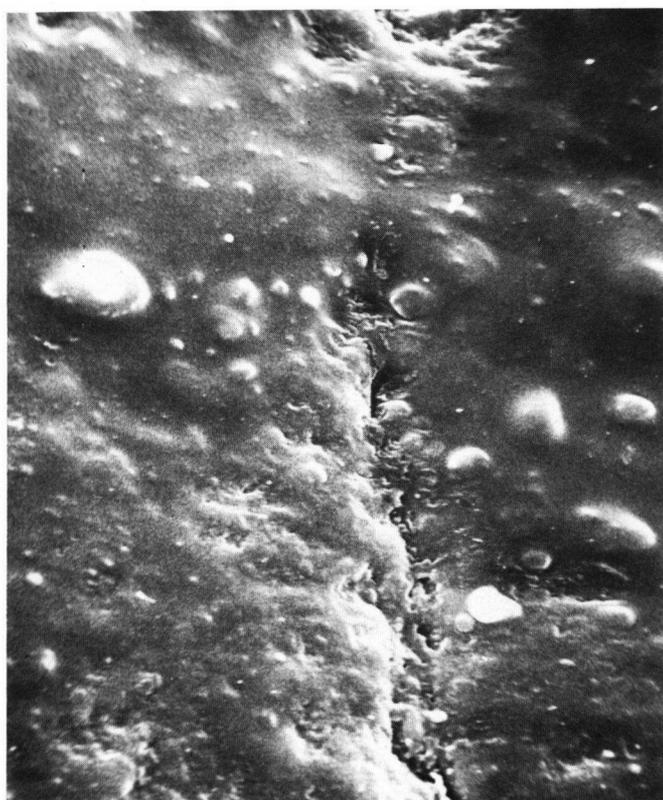
En fractographie on distingue plusieurs sortes de fracture: la fracture fragile qui est instantanée, la fracture par fatigue qui s'amorce lentement. Toute contrainte violente sur l'éclat inséré entraîne une aggravation des tensions de la pièce et souvent le départ d'un microenlèvement, ces efforts variables et cycliques s'ajoutent aux efforts de la pièce en mouvement. Or la matière constituant les éclats n'est pas homogène et toute hétérogénéité, ligne de moindre résistance, favorisent la naissance de microfissures internes. Les deux surfaces en contact (éclat en mouvement sur gerbes posées sur l'aire) exercent des compressions répétées suivant le contact de HERTZ (les trois contraintes principales sont des compressions). Le cisaillement principal



a  0 500 μ



b 0 250 μ



c 0 25 μ



d 0 25 μ

Fig. 2 - Microphotographies électroniques de l'éclat de chaille armant un tribulum de Mata de Ledesma. 2a: striures d'abrasion, les flèches indiquent les directions de déplacement au cours du travail. 2b:

phénomènes de fracture d'abrasion et de fatigue. 2c: microfissuration de fatigue en formation. 2d: microfissurations de fatigue à lèvres ouvertes.

résultant de cette compression est maximal à une certaine distance sous la surface de contact dans l'intérieur du solide, c'est là que s'amorce la fissure de fatigue. Suivant WÖHLER une pièce soumise à des efforts variables mais répété atteint son seuil de rupture avant le seuil normal de rupture sous effort constant en raison du phénomène de fatigue.

La forme somme toute compliquée d'un éclat par rapport à un solide géométrique simple, additionnée de son anisotropie, favorise la divergence des lignes de contraintes conduisant aux microfissures de fatigue. De proche en proche elles se rejoignent, gagnent la surface, s'étendent et l'effet de fente entraîne une décohésion plus importante et la rupture de fatigue engendre la rupture fragile sous forme d'une écaille et, quand le volume est plus important, le bris d'une partie plus grosse de la pièce. A ces décohésions internes viennent s'ajouter les décohésions de la couche de quelques μ d'épaisseur de la surface. Là le travail d'abrasion, de dislocation, est intense et il est favorisé par la texture du matériau. La fig. 2c montre la surface de l'arête de l'éclat de chaille avec des grains de quartz faisant saillie à la manière de grains d'abrasif pris dans le liant d'une meule. Quand la décohésion les gagne, non seulement ils laissent leur empreinte en creux - qui sera un point faible où s'exerceront de nouvelles contraintes - mais ils participent eux-même à l'abrasion de la surface, pour laquelle la silice des tiges de blé joue en grand rôle.

Par ailleurs la fig. 2c montre une microfissuration de fatigue en formation, elle est inclinée de 75° sur la direction générale des striures (peu visibles ici en raison de l'échelle). En fait les décohésions ne sont pas encore arrivées complètement à ouvrir les lèvres de fissure comme c'est le cas pour la fig. 2d. Sur cette même figure, à gauche du groupe de microfissures, se voient très bien des décohésions superficielles. La plus longue microfissure est inclinée de 40° sur la direction générale des striures. On observe la confluence de ces microfissures de fatigue et la rupture ne tardera pas à devenir fragile c'est à dire instantanée. Plusieurs types de confluences sont visibles sur la fig. 2a qui par ailleurs montre en bas à droite, la jonction de deux états de surface: la partie creuse correspond au négatif d'enlèvement d'un microéclat qui s'est opéré au cours du travail du tribulum et dont les bords commencent à s'arrondir sous l'action de l'abrasion orientée (striures). Les microfissurations (que l'on peut

confondre sous faible grossissement avec des microrayures) sont inclinées de 15° , 60° sur la direction générale des striures d'abrasion, d'autres, plus lointaines, accusent 40 et 50° . Le déplacement linéaire de l'éclat inséré est indiqué par les stries parallèles d'abrasion, le déplacement circulaire du tribulum s'imagine en faisant pivoter vers la droite la microphotographie autour de l'angle du bas à droite (ne pas oublier qu'on regarde ici l'arête, comme si on se trouvait sous le tribulum). Certaines microfissures de fatigue sont transversales à la direction de travail, d'autres sont plus ou moins inclinées sur cette direction, d'autres enfin ont tendance à être parallèles (fig. 2b en haut à droite). Cette microphotographie montre en outre beaucoup de négatifs d'écailles résultant de contraintes mécaniques intenses, points de choc au centre, tendance à la pénétration dans le solide de la rupture fragile dégageant des écailles à droite au tiers inférieur; l'orientation générale d'abrasion est l'axe vertical de l'image). L'usure des roches à facture conchoïdale en translation sous contrainte mécanique entraîne des altérations de la pièce: modifications par départ de petits enlèvements, microécailles analogues à des éclats, abrasion poussée de l'arête modifiée par ces enlèvements alternés et des faces supérieure et inférieure de la pièce, décohésion interne sous cisaillement conduisant à la microfissuration de fatigue qui, en s'étendant, engendre la rupture fragile. La mise en évidence, microscopiquement, de ces fissures de fatigue permet de montrer comment se conjuguent les actions internes de décohésion et les actions externes d'abrasion pour modeler la surface du solide de telle sorte que le nouvel état de surface n'ait plus aucune comparaison avec celui brut de débitage de l'instrument neuf inséré dans la tribulum. Quand l'éclat a perdu trop de matière (la section fig. 1 montre ce qui a disparu, d'abord par départ d'esquillement ensuite par abrasion, soit environ 2 mm 5) il est remplacé par un neuf.

**Je remercie beaucoup Monieur LUIS BENITO DEL REY de l'Université de Salamanca pour m'avoir procuré le matériel lithique de cette étude.*

*M.M. Dauvois
Centre National de la Recherche Scientifique
Institut de Paléontologie Humaine
Paris*