Chapitre 2.2.7
Diffusion des haches en jades au Néolithique

Estelle GAUTHIER(1), Pierre PÉTREQUIN(2)

(1) Chrono-Environnement UMR 6249, MSHE C.N. Ledoux UAR 3124, CNRS, Univ. Marie et Louis Pasteur, Besançon, (2) MSHE C.N. Ledoux UAR 3124, CNRS, Univ. Marie et Louis Pasteur, Besançon

À partir de la fin du 6e et jusqu'à la fin du 4e millénaire av. notre ère, les longues haches polies en jade ont circulé dans toute l'Europe sur près de 2 000 km à vol d'oiseau. Tirées de gîtes en altitude dans les Alpes italiennes puis travaillées dans des centres de production en Piémont, en Ligurie, en Émilie occidentale et sur le versant français des Alpes, ces lames ont ensuite été majoritairement diffusées vers l'Europe occidentale ; certaines sont également parvenues jusqu'à la mer Noire (Figure 1). Nombre de ces objets, parfois surdimensionnés ou surpolis, ont été placés dans de très riches tombes ou dans des dépôts de consécration. Il a été démontré que les élites contrôlaient la circulation de ces objets-signes pour l'affichage social et les rituels religieux (Pétrequin *et al.* 2003 ; 2006 ; 2012a ; 2013 ; 2017).

L'objectif de cette étude est de comprendre les modes de transfert de ces lames polies et de tenter de reconstituer leurs flux sur les deux millénaires que couvre leur circulation. Un inventaire systématique et détaillé, à l'échelle de toute l'Europe, associé à un ensemble d'études de terrain, d'analyses physico-chimiques, d'études typo-chronologiques, de modélisation ethnoarchéologique et d'expérimentations ont permis d'obtenir un grand nombre d'informations sur les modes d'exploitation, de mise en forme et de consommation. Ce chapitre a pour objectif est de présenter diverses approches statistiques et spatiales de ces données permettant de dépasser la vision très générale de la carte de répartition des découvertes archéologiques, en insistant sur ce qu'elles peuvent apporter à la compréhension des mécanismes de ce phénomène exceptionnel de diffusion depuis une origine unique.

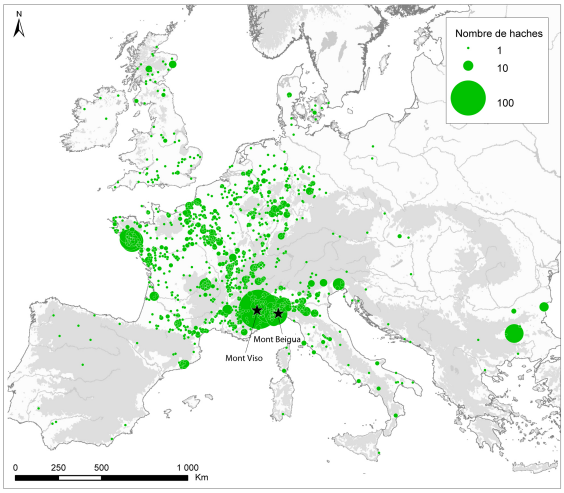


Fig. 1 : Répartition générale des longues haches en jades alpins (d'après la base de données du projet JADE – état 2019)

1 Reconstituer tous les maillons de la chaîne des transferts

L'approche classique par la carte de répartition des lieux de découverte n'est pas suffisante pour appréhender pleinement la circulation des produits (Pétrequin *et al.* 2007, 2012c ; Gauthier *et al.* 2014 ; 2017 ; 2022). En effet, ces sites ne correspondent qu'à la dernière étape de la vie des objets qui ont pu suivre des parcours très complexes. Divers lieux doivent être mis en relation d'un bout à l'autre du réseau : des gîtes de matière première, des ateliers, des intermédiaires, des lieux de consommation… qui représentent autant de maillons importants dans la chaîne des transferts. Pour parvenir à tous les intégrer, la « biographie » de chaque objet doit d'abord être reconstituée par les préhistoriens. Si les deux extrémités du parcours sont connues (l'origine alpine a été démontrée grâce aux recherches de terrain et aux analyses des matières premières ; la destination correspond aux lieux de découverte des objets), des études archéologiques préalables sont nécessaires pour tenter de reconstituer les chaînons intermédiaires manquants (Pétrequin *et al.* 2012c). Pour ce faire, il est dans un premier temps utile de chercher à comprendre le mode de diffusion principal de ces produits.

1.1 Identification du mode de diffusion des longues haches en jade

La diffusion des longues haches en jade depuis les gîtes alpins à travers toute l'Europe correspond-elle à une transmission de proche en proche (« down-the-line ») ou bien à des modes de transferts plus spécifiques ? Cette question est posée en référence aux modèles de C. Renfrew (Renfrew 1975, fig. 10, Renfrew et Bahn 2020, voir aussi Grancher *et al.* 2016) qui sont des modèles théoriques même si leur conception est fondée *pro parte* sur les travaux que l'auteur a menés sur la production et la circulation de l'obsidienne en Anatolie. Il s'agit de transposer cet exercice aux transferts de

longues haches en jades alpins afin d'identifier, parmi ces différents modes de diffusion, celui qui pourrait correspondre le mieux, en nous appuyant sur les effectifs des objets découverts.

Nous mesurons la manière dont les quantités potentielles de produits, estimées à partir des vestiges archéologiques, varient selon la distance au Mont Viso, considéré comme l'origine principale du réseau de transfert à l'aide d'une régression spatiale[1]. Pour ces analyses à petite échelle, nous avons volontairement considéré des distances à vol d'oiseau. Différents tests ont en effet montré qu'à cette échelle, la prise en compte du relief jouait assez peu sur le résultat. Par ailleurs, les études ethnographiques ont prouvé que lorsqu'il s'agit d'atteindre une ressource convoitée, le franchissement d'une chaîne montagneuse ne constituait pas un problème majeur avant l'introduction des transports pondéreux par chariot (Pétrequin et Pétrequin 2006 ; 2020). La première étape consiste à créer un graphique de type diagramme en barres verticales, présentant en abscisses la distance au Mont Viso de 0 à 2 000 km, exprimée par pas de 10 km et en ordonnées le nombre de haches en jade découvertes dans chacun de ces pas de distance. Le graphique obtenu présente alors une succession complexe de barres qu'il est difficile d'interpréter. Dans un second temps, une courbe de tendance de **moyenne mobile**[2] permet d'estimer l'évolution du nombre moyen de haches avec la distance (Figure 2). Par effet de lissage, cette représentation facilite la lecture de la forme de la distribution* (*cf.* 4.).

Ce graphique général pour l'Europe occidentale présente, certes, une diminution progressive avec la distance, mais aussi plusieurs pics significatifs le long de cet axe. Ces pics correspondent à de larges concentrations de lames de haches, séparées par des zones vides ou de faible densité, lacunes qui ne peuvent pas être expliquées par des biais liés à l'échantillonnage. L'hypothèse de transferts de proche en proche ou bien encore de transferts directs de biens de prestige (Renfrew 1975) ne peut rendre compte de cette disposition géographique très particulière. La situation s'apparente en fait à un modèle de diffusion *via* des pôles intermédiaires (Renfrew et Bahn 2020 ; Pétrequin *et al.* 2012b), des places centrales qui jouent le rôle de centres de redistribution (Renfrew 1975, p. 5-6 et 10). Les haches auraient été redistribuées entre groupes d'élites régionales. C'est ainsi que les concentrations de haches les plus importantes se situent aux deux extrémités du réseau : d'une part, chez les producteurs et leurs voisins immédiats (mais il s'agit surtout d'ébauches brisées lors de leur mise en forme), et d'autre part, dans les communautés où les fonctionnements sociaux sont très inégalitaires, à 500, 800, 1 000 km de là, dans le Bassin parisien, la basse vallée de la Loire, le golfe du Morbihan où elles correspondent à une accumulation avec une faible remise en circulation. Entre les deux, certains intermédiaires ont pu également retenir une partie des haches pour leur propre usage mais ils se sont montrés plus perméables

[1] La régression est une modélisation de la relation statistique entre deux variables (analyse bivariée cf. 5), l'une expliquant la variation de l'autre par une fonction non réciproque. La régression est dite spatiale quand l'une des deux variables correspond à des distances ou des localisations

[2] La moyenne mobile, ou moyenne glissante, est un type de moyenne statistique. Elle est utilisée pour analyser des séries de données, par exemple temporelles, en supprimant les fluctuations transitoires pour souligner les tendances sur un ensemble de plusieurs périodes. C'est une méthode de lissage qui consiste à calculer à chaque pas de temps (p) une moyenne qui inclut les valeurs mesurées sur plusieurs périodes (par exemple pour p de p-2 à p+2 ; pour p1 de p1-2 à p1+2…).

car ils étaient sans doute soumis à des liens de dépendance ou de complémentarité soutenant les transferts du sud-est vers le nord-ouest.

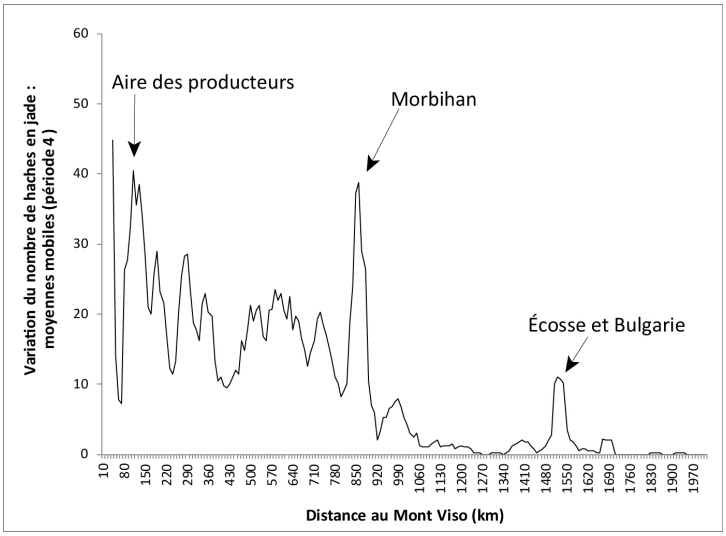


Fig. 2 : La variation du nombre de haches en jade selon la distance au Mont Viso est ici représentée par une courbe de tendance en moyennes mobiles de période 4 qui améliore la lecture de la distribution

Alors que la régression spatiale permet une première approche globale de ce fonctionnement à l'échelle de l'Europe, il convient de mettre ensuite en œuvre des approches locales pour identifier ces centres de redistribution. La méthode choisie est l'estimation des densités de noyaux* (*KED*, Kernel Estimation Density, *cf.* Rosenblatt 1956 ; Parzen 1962 ; Biau 2003 ; Di Salvo *et al.* 2005 ; Zaninetti 2005), car elle permet de quantifier l'espace, c'est-à-dire de reconstituer sa continuité, avec un certain lissage, sans supposer la continuité du phénomène étudié (*cf.* 11.). La représentation des valeurs de densité obtenues met en évidence des noyaux qui n'ont pas tous la même « importance » relative, tant en termes de taille qu'en termes d'intensité, ce qui permet d'évaluer le poids relatif de chacun. Une discrétisation* en classes des valeurs par la méthode de Jenks (1967)[3], qui maximise la variance* inter-classes et minimise la variance intra-classe, permet de visualiser de façon très efficace le positionnement des principaux pôles de consommation des jades en Europe (Figure 3). Nous isolons ensuite le dernier décile (*cf.* quantiles*) des valeurs de densité pour mettre en évidence d'autres pôles de concentration dont l'importance est moindre, mais qui ont sans doute aussi joué un rôle à un moment donné dans la circulation des produits. Les pôles sont ainsi hiérarchisés en centres « principaux » et « secondaires ».

[3]La méthode de Jenks figure parmi les méthodes de discrétisation en classes d'une série de valeurs. Ces méthodes de discrétisation sont beaucoup utilisées en cartographie : classes d'amplitudes égales, discrétisation fondée sur la moyenne et l'écart-type, classes d'effectifs égaux (ou quantile), classes en progression géométrique, méthode des seuils naturels et méthode de Jenks fondée sur la variance. Pour en savoir plus sur les applications en cartographie : Béguin et Pumain 1994.

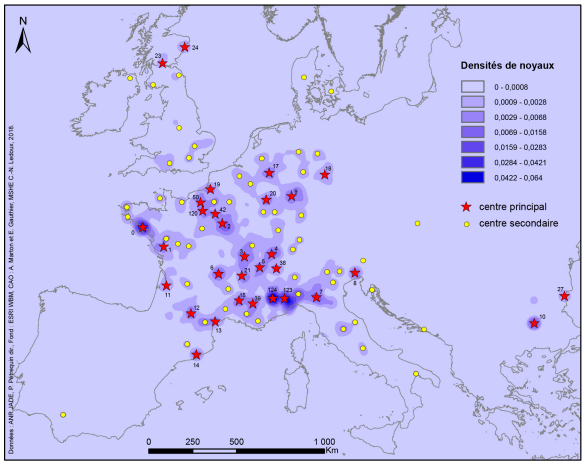


FIG. 3 : Localisation des centres principaux et secondaires qui constituent, selon nos hypothèses, les principaux intermédiaires dans la diffusion des longues haches en jades alpins. Les valeurs sont ici classées selon la méthode de Jenks qui met en valeur les pôles principaux

1.2 Des sélections au cours des transferts

À vouloir considérer l'ensemble du corpus comme un tout, nous introduisons sans doute des biais. Il existe en effet une grande variabilité dans la morphologie et la chronologie des longues haches en jade, les répartitions globales représentant le palimpseste de deux millénaires de production et de circulation (Pétrequin *et al.* 2012c). Considérant les niveaux de finition des pièces depuis l'ébauche jusqu'aux objets surpolis (Pétrequin *et al.* 2012c), nous souhaitons, néanmoins, savoir s'il existe des préférences dans la sélection des lames à mesure qu'elles circulent depuis les producteurs jusqu'aux utilisateurs éloignés. Cette analyse fait donc à nouveau intervenir la notion de distance à la source.

Une représentation graphique sous forme de boîtes à moustaches* (*box plot,* Figure 4) donne une image très parlante de la distribution des valeurs de distance pour les six niveaux de polissage considérés. Le premier quartile et la médiane* (et dans une moindre mesure, le troisième quartile) s'éloignent de l'origine à mesure que le niveau de finition augmente. L'amplitude de la distribution semble également croître de façon progressive, les objets de niveau 5 ayant la répartition la plus vaste (le niveau 6, qui correspond à l'aménagement d'une perforation ou d'une arête médiane, est un peu moins largement diffusé). Nous pouvons en conclure à une préférence pour les objets les mieux travaillés à mesure que l'on s'éloigne des gîtes. À l'inverse, ils ne sont pas présents près des gîtes et des centres de production. Par ailleurs, la rareté des ébauches (niveaux 1 et 2) au-delà de 200 km montre que les objets mis en circulation étaient essentiellement ceux qui étaient prêts à être utilisés. Nous pouvons en conclure non seulement à une recherche croissante de valorisation des pièces avec la distance, mais également à un changement de statut de l'objet dès que l'on sort de l'aire de production.

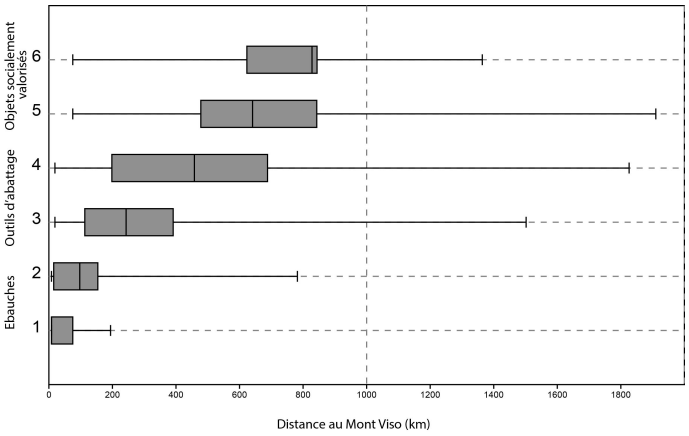


Fig. 4 : Distribution des distances des haches en jade au Mont Viso selon leur niveau de finition. Le décalage progressif des quartiles et de la médiane sur les boîtes à moustache permet de visualiser l'augmentation progressive des distances en fonction des niveaux de finition

Distance au Viso	1	2	3	4	5	6
0 à 10 km	98	9	-18	-43	-37	-8
10 à 100 km	32	22	23	-17	-49	-11
100 à 200 km	6	16	25	19	-52	-14
200 à 300 km	-20	-3	32	12	-16	-5
300 à 400 km	-14	-3	7	13	2	-4
400 à 500 km	-15	-6	-1	18	11	-6
500 à 600 km	-20	-8	-10	11	28	0
600 à 700 km	-16	-7	-7	0	26	4
700 à 800 km	-13	-4	-10	-1	26	2
800 à 900 km	-20	-8	-22	-18	21	48
900 à 1000 km	-6	-2	-5	-3	15	2
1000 à 1200 km	-3	-1	-4	0	9	-1
1200 à 1400 km	-1	-1	-1	-2	5	0
1400 à 1600 km	-7	-3	-7	10	11	-4
1600 à 1800 km	-1	0	-1	3	1	-1
1800 à 2000 km	0	0	0	0	0	0

Sur-représentation :
Différence statistiquement significative
Différence peu significative

Sous-représentation :
Différence statistiquement significative
Différence peu significative

Fig. 5 : Confrontation par un calcul de Chi² entre différentes classes de distance au Mont Viso et les niveaux de finition des haches en jade : les valeurs représentent les écarts à l'indépendance. Les classes des deux paramètres étant ordonnées, la diagonale de sur-représentation observée met en évidence une corrélation entre le degré de polissage et la distance aux gîtes

Dans un tableau de contingence*, nous comptabilisons les haches par niveau de finition et par rayon de distance au Mont Viso (tous les 100 km jusqu'à 1000 km, puis tous les 200 km). Un test de Chi²* (*cf.* 5.) permet de vérifier que la distance aux gîtes et le niveau de polissage des haches ne sont pas indépendants. Les ébauches dans le premier rayon et les haches de poli 6 entre 800 et 900 km apportent les contributions les plus élevées. Cela s'explique facilement par la présence d'ébauches abandonnées au niveau des exploitations, sans doute à la suite de tests de qualité de la matière première ou bien à des ratés dans les premières étapes de la mise en forme et, d'autre part, par un intérêt particulier pour les objets à très haut degré de finition dans le

Morbihan considéré comme un point d'attraction majeur des longues haches en jade. Par des codes de couleurs, nous mettons en valeur les effets de sur-représentation (en rouge) et de sous-représentation (en vert) dans les écarts à l'indépendance (Figure 5), en tenant compte de leur significativité statistique selon un test t[4] (foncé : différence significative ; clair : peu significative). Le résultat fait apparaître une diagonale de sur-représentation de données liant le degré croissant de polissage avec l'éloignement progressif jusqu'à 900 km environ des gîtes alpins. Cette situation peut être interprétée comme une corrélation* positive entre les deux paramètres (*cf.* 5.). Au-delà, la situation est beaucoup moins claire, mais les haches sont aussi moins nombreuses (moins de 10 %).

La cartographie des centres de gravité des répartitions par niveau de finition[5], permet également de visualiser l'augmentation de la qualité du polissage depuis les carrières (sources de jades) en direction de la Bretagne (Figure 6). Les points moyens des niveaux de finition suivent clairement un modèle linéaire (Gauthier et Pétrequin 2017) : ils se placent le long d'une courbe qui représente la direction principale de la diffusion. Ils se succèdent dans l'ordre le long de cet axe, les exemplaires les moins travaillés près de l'origine de la diffusion, le niveau de finition augmentant ensuite progressivement avec la distance. Cette augmentation est progressive, mais elle ne se fait pas partout à la même vitesse : lente d'abord sur les 500 premiers kilomètres, puis de façon exponentielle entre 800 et 1 210 km. Les ellipses de déviation standard[6] montrent quant à elles que les artefacts font l'objet d'une diffusion de plus en plus large à mesure que les objets sont davantage travaillés (exception faite des haches surpolies de niveau 6, essentiellement carnacéennes et dont l'ellipse se resserre autour du golfe du Morbihan). Si l'on se réfère aux modèles spatiaux proposés par D. Pumain et Th. Saint-Julien (2001, p. 156-157, 166 et fig. 4.6.a), ce schéma peut correspondre à une diffusion par expansion (ou propagation) combinée à une diffusion par déplacement (« migration »[7]), celle-ci se faisant ici le long d'un axe. En effet dans le cas d'une simple diffusion par expansion, les ellipses de déviation standard s'élargissent, reflétant ainsi l'expansion de l'aire touchée par la distribution des données ; mais le point moyen doit rester fixé sur le foyer primaire de la diffusion. Dans le cas de la diffusion par déplacement, les points moyens suivent un tracé plus ou moins linéaire ou plus complexe tandis que les aires touchées évoluent peu. Dans ce cas précis, les points moyens se déplacent de façon régulière et ordonnée et les ellipses de déviation standard s'élargissent (Gauthier *et al.* 2022, fig. 57). Il faut donc y voir une combinaison des deux modes de diffusion.

[4] Le test t ou test de Student est un test statistique qui permet de vérifier s'il existe une différence significative entre les moyennes de deux groupes.

[5] Cette méthode appartient au champ des statistiques spatiales descriptives. On la retrouve également sous les noms de barycentre (ou point moyen). Son principe consiste à résumer un semis de points en calculant la moyenne géographique des entités spatiales étudiées (Zaninetti, 2005). On retrouve cette notion de barycentre dans l'analyse des nuages de points pour les approches statistiques multivariées (*cf.* 6.).

[6] L'ellipse de déviation standard (ellipse d'écart type) est une mesure de la dispersion des valeurs autour d'un barycentre ou point moyen. Elle tient compte de l'anisotropie d'une distribution, c'est-à-dire de sa déformation dans une direction ou dans une autre (Zaninetti, 2005). Les axes de l'ellipse sont définis par le calcul de l'écart type des points (coordonnées x et y) au point moyen. Pour un autre exemple sur les modalités de dispersion du peuplement : Bertoncello *et al.* 2012a.

[7] Avertissement : le terme « migration » n'est pas considéré ici dans son sens historique ou ethnologique (celui d'une migration de population), mais tel qu'il est employé en statistiques spatiales par D. Pumain et Th. Saint-Julien, dans le sens d'un déplacement d'un phénomène avec abandon progressif des lieux initialement atteints (2001, p. 156-157).

Or cette situation implique que les objets sont transférés par étapes successives et connaissent tour à tour différents foyers de diffusion qui correspondent aux centres de redistribution identifiés plus haut (Figure 3). Dans notre cas, à chaque étape, le groupe receveur repolit une partie des haches pour qu'elles répondent aux normes culturelles locales, avant d'en remettre un certain nombre en circulation (par ex. style alpin nord, style alpin ouest, style Bassin parisien et allemand, style carnacéen, style écossais et irlandais ; Pétrequin *et al.* 2012c).

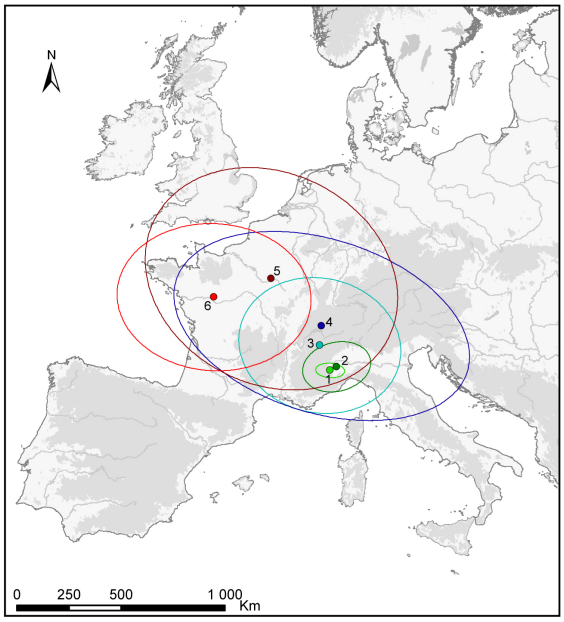


Fig. 6 : Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des six niveaux de finition des haches en jades alpins. L'alignement des points moyens illustre l'augmentation du degré de polissage avec l'éloignement progressif des gîtes, tandis que les ellipses montrent l'expansion de la diffusion des haches (jusqu'au niveau 5)

1.3 Des transformations au cours des transferts

Une approche typologique fine a permis de distinguer 18 formes différentes de lames (Pétrequin *et al.* 2012c). Nous souhaitons savoir si des préférences régionales peuvent être perçues dans le choix des types en circulation. Une représentation par boîtes à moustaches (ou *box plot*) met en évidence des disparités (Figure 7). La plupart des types ont une répartition générale large, couvrant au moins 800 km d'amplitude totale (exception faite du type Varna que l'on rencontre exclusivement autour de 1500-1700 km). Certains ne semblent pas montrer de tendance particulière : Puy, Chelles, Bernon, Puymirol. À la fois largement répartis à tous les pas de distance, leur médiane se trouve aux alentours de 500 à 600 km de l'origine et l'espace interquartile* est large. D'autres au contraire se rencontrent essentiellement à proximité des gîtes alpins : les trois quarts des haches de type Bégude et la majorité des haches de type Durrington, Remedello, Castello et Vihiers ont été trouvées à moins de 400 km du Mont Viso.

Les exemplaires du type Altenstadt-Greenlaw, Glastonbury et Chenoise forment un groupe à part : largement réparties, elles se trouvent en grande majorité entre 500 et 850 km du Mont Viso. Enfin, si quelques exemplaires de Saint-Michel et Tumiac se rencontrent dans diverses régions d'Europe, leur distribution est majoritairement concentrée sur un très petit pas de distance, à environ 850 km du Mont Viso.

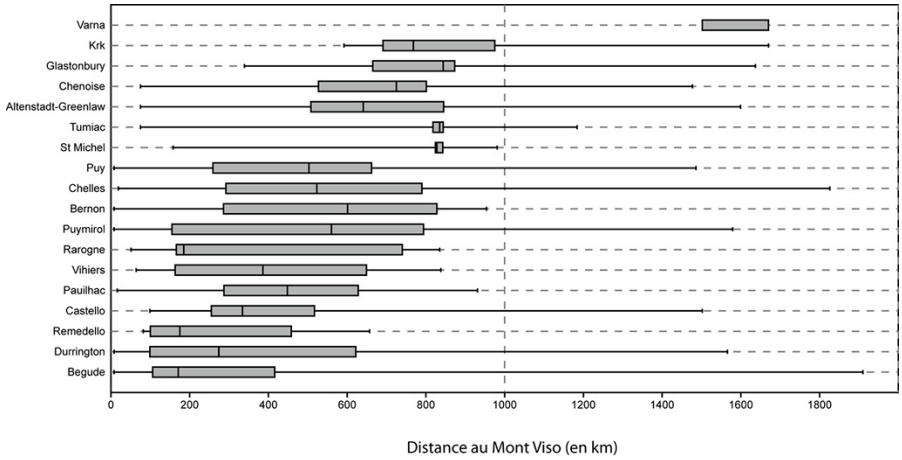


Fig. 7 : Distribution des distances des haches en jade au Mont Viso selon leur type. Les boîtes à moustaches illustrent la diversité des modes de répartition des différents types de haches, en termes de localisation dans le réseau (plus ou moins loin des gîtes alpins) mais également en termes d'expansion

Si des raisons chronologiques peuvent expliquer ces différences (en particulier le type Bégude, le plus ancien, et plus tard le type Pauilhac), des préférences régionales sont évidemment en cause. La cartographie des points moyens et de leurs ellipses de déviation standard permet de rendre compte des phénomènes de régionalisation (Figure 8).

Ainsi se distinguent des types qui peuvent être qualifiés de « méridionaux » (Bégude, Pauilhac), car ils sont surtout présents en Italie et dans le sud de la France. D'autres sont dits « septentrionaux » (Altenstadt-Greenlaw et Chenoise), car ils se retrouvent surtout du Bassin parisien à la Grande-Bretagne et au Danemark, avec une concentration importante en Allemagne. Enfin certains sont nommés « carnacéens » (Bernon, Tumiac, Saint-Michel), car ils sont pour l'essentiel concentrés en Bretagne, dans la région de Carnac et du golfe du Morbihan (Pétrequin *et al.* 2012c).

La combinaison des observations précédentes nous permet d'aller encore plus loin dans la compréhension des modes de diffusion des jades alpins. En effet, les ébauches (déterminées) appartiennent surtout aux types alpins (Bégude, Durrington, Puymirol, Puy), tandis que l'on remarque la quasi-absence des ébauches de types régionaux comme Altenstadt-Greenlaw, Chenoise, Glastonbury, Tumiac ou Saint-Michel (Figure 9). Les haches de type Bernon, Chenoise, Glastonbury existent surtout au niveau 5. Enfin le niveau 6 est surtout représenté par les types Saint-Michel, Tumiac et Pauilhac qui se trouvent essentiellement sous cette forme.

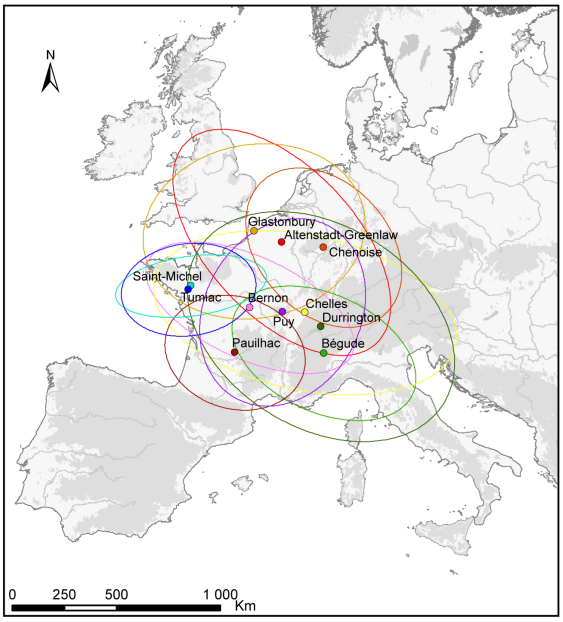


FIG. 8 : Les points moyens et les ellipses de déviation standard de la distribution des principaux types de haches en jades alpins permettent de visualiser en cartographie la diversité des situations décrites dans la Figure 7. Ils soulignent notamment la régionalisation de certains types

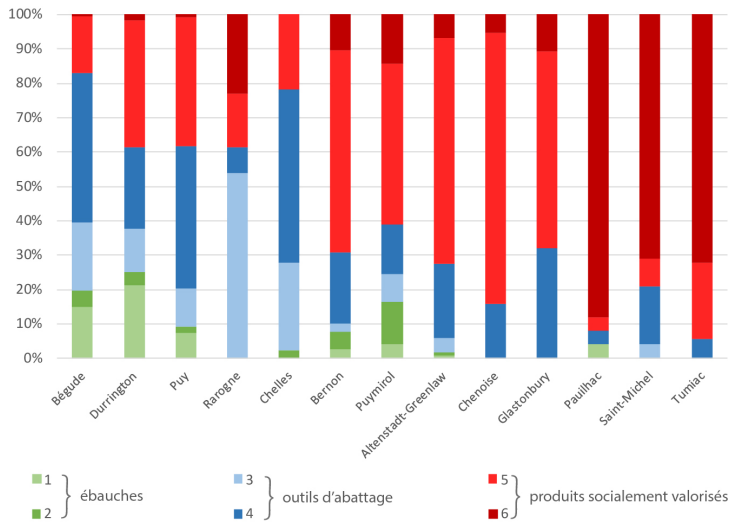


FIG. 9 : Proportion des différents niveaux de finition pour les principaux types de haches en jade. Les ébauches appartiennent surtout aux modèles alpins, tandis que les types carnacéens ne sont connus que sous la forme de produits fortement travaillés

L'absence d'ébauches de certains types, leur présence uniquement sous la forme d'objets finis voire surpolis et la complémentarité des distributions laissent penser à une nouvelle transformation de haches déjà existantes (d'un autre modèle) par des épisodes successifs de mise en forme et d'amincissement par polissage. L'équipe du programme JADE[8] a en effet apporté la preuve de telles transformations (Pétrequin *et al.* 2012c ; 2013). Dans les réseaux de transferts, il faut donc prendre en compte des intermédiaires particuliers correspondant à des centres régionaux de transformation spécialisés dans la (re)mise en forme de certains modèles par repolissage. Il est alors possible de proposer une reconstitution plus précise du parcours de chaque hache en jade en fonction de son type.

2 Vers une proposition de reconstitution du réseau de transferts des jades alpins

Les différentes analyses statistiques réalisées conjointement (diagrammes avec courbe de tendance, boîtes à moustaches, Khi²*) ont permis d'expliciter certains modes de diffusion des haches en jade : les objets sont transférés par étapes successives vers différents foyers, qui en thésaurisent une partie mais jouent également le rôle de centres de transformation (polissage croissant, modifications de forme) et de pôles de redistribution, contribuant ainsi à l'expansion progressive des transferts. Les analyses spatiales (cartographie des centres de gravité, ellipses de déviation standard, densité de noyaux) permettent de visualiser ces phénomènes dans l'espace géographique et ainsi d'identifier les principaux maillons du réseau.

2.1 Modélisation du réseau, puis des flux de haches en jade.

Pour pouvoir quantifier les transferts des jades, le réseau est matérialisé sous la forme d'un graphe (Berge 1967, p. 70 ; Pumain et Saint-Julien 1997, p. 93), chaque sommet (nœud) étant un lieu desservi, tandis que les arêtes sont les polylignes[9]* correspondant aux routes empruntées. Chacun des centres de redistribution identifiés préalablement (Figure 3) constitue un nœud du réseau. Les routes suggérées sont quant à elles proposées en fonction de la topographie (par exemple les cours d'eau, les cols) et des lignes de plus grande densité spatiale* des haches en jade. Il s'agit d'abord de reconstituer l'essentiel du parcours de chaque objet en fonction de ses caractéristiques (sa typologie notamment), jusqu'à atteindre le centre de redistribution le plus proche de son lieu de découverte (un raccord direct est ensuite effectué vers celui-ci). Associant l'ensemble des parcours proposés pour tous les objets du corpus, il en résulte un modèle complet du réseau (Figure 10A).

[8]Programme ANR Blanc « JADE : Inégalités sociales et espace européen au Néolithique : la circulation des grandes haches en jades alpins », ANR-BLAN06-1*137240 (2007-2010), dir. Pierre Pétrequin. Programme ANR Blanc « JADE 2 : Objets-signes et interprétations sociales des jades alpins dans l'Europe néolithique », ANR-12- BSH3-0005 (2013-2017), dir. Estelle Gauthier et Pierre Pétrequin.

[9]La polyligne est l'une des composantes géométriques du modèle informatique vecteur* (*cf.* 11.) tel qu'on le rencontre dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Une entité géométrique composée d'un seul sommet correspond à une entité point, quand plusieurs sommets sont reliés et que le premier et le dernier sont égaux, il s'agit d'une entité polygone. Mais quand plusieurs sommets sont reliés et que le premier et le dernier ne sont pas égaux, il s'agit d'une polyligne.

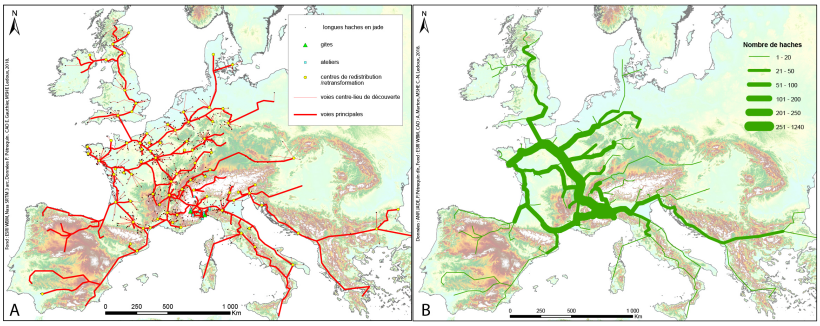


Fig. 10 : Proposition de modélisation du réseau de diffusion des longues haches en jades alpins (A) et de leurs flux totaux au cours du Néolithique (B)

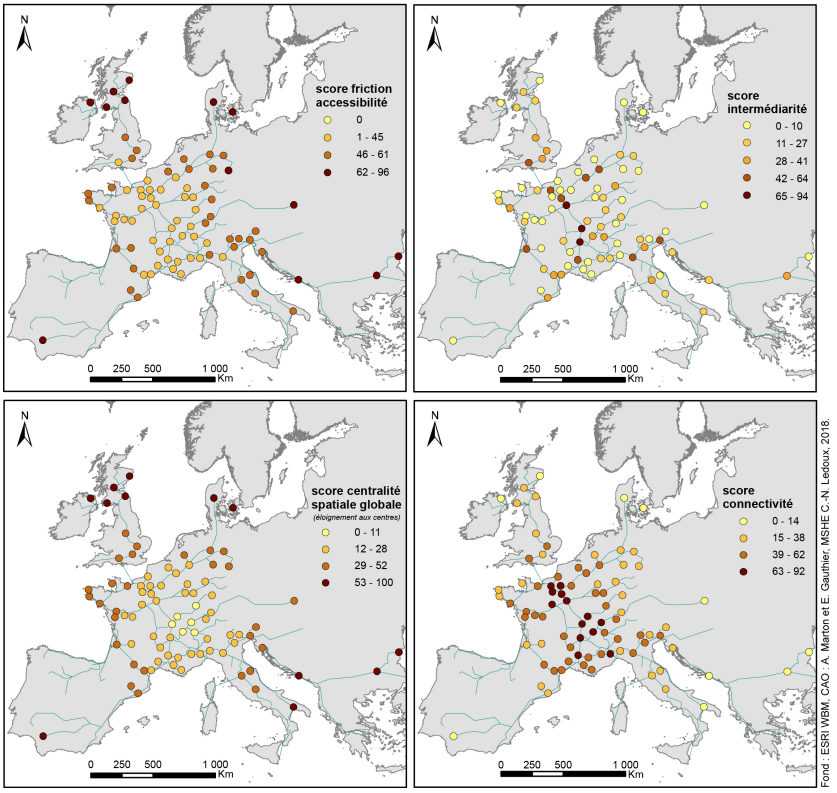


Fig. 11 : Scores obtenus par les différents nœuds du réseau pour les différents indices calculés. Les nœuds les mieux positionnés dans le réseau sont ceux possédant une intermédiarité et une connectivité élevées, un faible éloignement au centre du réseau et une faible friction à l'accessibilité

Pour quantifier les flux globaux des haches en jade, c'est-à-dire déterminer combien d'entre elles ont traversé chaque partie du réseau, nous comptabilisons le nombre de haches passées à un moment ou à un autre par chaque tronçon, puis nous représentons cette variable en ajustant l'épaisseur du tracé en fonction de la valeur obtenue (Figure 10B). Nous aboutissons ainsi à une première modélisation des flux cumulés des jades alpins tous types et toutes périodes confondus, qui malgré ses défauts et les incertitudes qui subsistent, donne sans doute une image bien plus proche de la réalité des transferts des jades alpins que la traditionnelle carte de répartition des seuls lieux de découverte (Figure 1).

2.2 Analyse de la structure du réseau

L'analyse d'un graphe (ou réseau) permet de calculer une série de mesures (indicateurs[10] qui peuvent ensuite être analysés statistiquement avec d'autres variables (*cf.* 5. et 6.). Ce type d'analyse a permis de montrer que la structure du réseau de circulation des jades reflète non seulement l'organisation des transferts, mais également l'attractivité des différents centres de redistribution et, à travers eux, les phénomènes de compétition qui régissaient les relations sociales entre les différents groupes humains. Plusieurs facteurs principaux peuvent affecter le développement individuel des nœuds : parmi eux, leur accessibilité et leur centralité, deux concepts intimement liés. L'accessibilité (Sevtsuk 2010) est la facilité ou la rapidité théorique avec laquelle les sites peuvent être atteints à partir des autres nœuds du réseau. La notion de centralité est quant à elle un élément clé quand il s'agit de comprendre la structure hiérarchique du réseau. Le concept de « position » est ici important, car celle-ci a prouvé être un paramètre déterminant des comportements des sociétés au sein des réseaux d'échanges (voir Cook et Emerson 1978 ; Harkess 1976). Nous souhaiterions distinguer les « effets réseau » et les « effets spatiaux » sur l'implantation des nœuds les plus importants, en cherchant par exemple à déterminer si les pôles majeurs ont une position théoriquement plus avantageuse dans la structure du réseau, position dont ils auraient pu tirer parti. Un nœud du réseau plus accessible ou plus central joue-t-il un rôle plus déterminant dans les transferts ? L'importance de ces deux qualités peut être évaluée à travers un certain nombre d'indicateurs que nous avons choisi de regrouper en indices de friction à l'accessibilité[11], de centralité spatiale globale[12], de connectivité

[10] Parmi les principaux indicateurs utilisés en analyse des réseaux, on peut citer le degré de centralité qui correspond au nombre de liens (ou arêtes) sortant d'un nœud (ou sommet) sur le nombre de liens (ou arêtes) possibles dans le réseau (ou graphe). Pour en savoir plus : Wasserman et Faust 1994, et en français les articles du groupe Flux, Matrice, Réseau https://halshs.archives-ouvertes.fr/FMR.)

[11] L'indice de friction à l'accessibilité correspond à la mesure de la difficulté à atteindre un nœud depuis n'importe quel nœud de départ ; il prend en compte conjointement plusieurs indices comme la durée, la distance cumulée et la complexité (c'est-à-dire le nombre de nœuds intermédiaires à traverser) moyennes des parcours nécessaires pour l'atteindre (pour une présentation détaillée de ces indices, voir Gauthier *et al.* 2022, chap. 6).

[12] L'indice de centralité spatiale globale est la comparaison de la position d'un nœud par rapport au centre du réseau, qui peut être le centre géométrique de l'emprise globale du réseau, le point moyen de l'ensemble des nœuds du réseau ou encore le point moyen de la distribution géographique des objets étudiés (Pumain et Saint-Julien 1997).

(portée)[13] et d'intermédiarité[14] (Figure 11, voir en détail Gauthier *et al.* 2022 avec bibliographie).

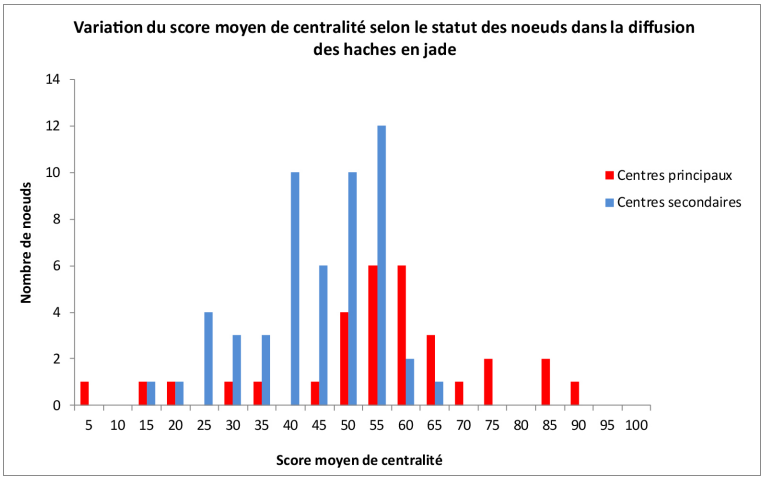


FIG. 12 : Comparaison du score global de centralité des nœuds considérés comme des centres principaux ou comme des centres secondaires. Les centres principaux semblent bénéficier d'une meilleure position dans le réseau

Pour en revenir au réseau de transfert des haches en jades, la structure du réseau présente des nœuds proches du centre géographique, en théorie mieux connectés, avec une meilleure accessibilité et souvent plus d'intermédiarité ou, au contraire, des nœuds situés sur les marges du réseau, moins bien connectés, moins accessibles avec une moins bonne intermédiarité. La répartition des nœuds à très forte intermédiarité montre une voie principale de circulation depuis le nord des Alpes en direction du nord de l'Europe. La situation rappelle fortement une « nodalité linéaire » telle que décrite par J.J. Bavoux (2005) dans laquelle, à l'image d'une « colonne vertébrale », l'axe principal donne naissance à de multiples endroits à d'autres tronçons plus ou moins parallèles entre eux. Dans sa structure, ce réseau présente donc un contraste entre des nœuds à fort potentiel près du centre du graphe et le long de sa voie principale et des nœuds à plus faible potentiel sur les marges.

Pourtant, on remarque d'emblée que, dans le cas de la circulation des jades, les avantages théoriques conférés par la structure du graphe en termes d'accessibilité et de rapidité ne sont pas totalement opérants, puisque l'Italie aurait dû concentrer le plus grand nombre de haches, ce qui n'est pas du tout le cas (Pétrequin *et al.* 2012c, 2020). La circulation des jades montre des tendances contradictoires avec les potentialités du

[13] L'indice de connectivité, ou portée, rend compte du nombre de destinations accessibles depuis un nœud à différents rayons de recherche. Cet indice comprend le « degré » du nœud qui représente le nombre de ses connexions directes (Albert et Barabási 2002, Porta *et al.* 2006, Bavoux 2005), mais également le nombre d'autres lieux pouvant être atteints dans un rayon donné ou encore la distance du plus long trajet impliquant ce nœud (voir Sevtsuk 2010).

[14] L'intermédiarité correspond à la capacité du nœud à servir d'intermédiaire, c'est-à-dire le nombre de parcours impliquant sa traversée parmi tous les parcours possibles du réseau. Il s'agit d'identifier les sommets « points de passage » qui permettent de relier le plus directement possible deux sommets d'un graphe. Cet indice mesure la sollicitation d'un nœud par comptage des plus courts chemins qui y transitent (Freeman 1977, Sevtsuk 2010).

réseau, ce qui prouve que d'autres facteurs que les seules contraintes d'accessibilité et de distances sont en jeu.

Il est également intéressant de comparer le statut des nœuds que nous avions évalué à partir des densités de noyaux (*cf.* 11.) de longues haches en jade (voir Figure 3) et leur degré moyen de centralité (Figure 12). Si l'on compare le score moyen de tous les indices de centralité, il est clair que les centres principaux ont tendance à avoir plus volontiers un meilleur potentiel au sein du réseau que les centres secondaires. C'est notamment le cas de Carnac, dont la position semble être un atout pour la redistribution des produits en jade : bien que le site soit relativement éloigné du centre du réseau, il possède un score global plus élevé que d'autres nœuds situés plus près du centre sur les axes secondaires du réseau, notamment grâce à son intermédiarité et à sa connectivité. Ce n'est bien entendu sans doute pas le facteur principal qui a permis son développement, son poids socio-culturel important étant probablement à l'origine de son rôle d'épicentre de l'attraction et de la redistribution des jades ; mais il a certainement favorisé le développement du réseau autour de lui, à la suite de l'attraction des « richesses » par les élites.

D'une manière générale, l'intermédiarité semble être le critère qui semble favoriser particulièrement certains nœuds au sein du réseau de transfert. Un calcul de la corrélation de Bravais Pearson (*cf.* 5.) entre le score d'intermédiarité et le volume global des flux cumulés ayant transité par chaque nœud donne d'ailleurs un résultat de 0,72, ce qui est largement supérieur à la corrélation avec les autres indices calculés. Cela semble jouer particulièrement pour les plus forts scores d'intermédiarité (Figure 13), ce qui montre que ce critère exerce probablement un rôle favorable sur le dynamisme des pôles.

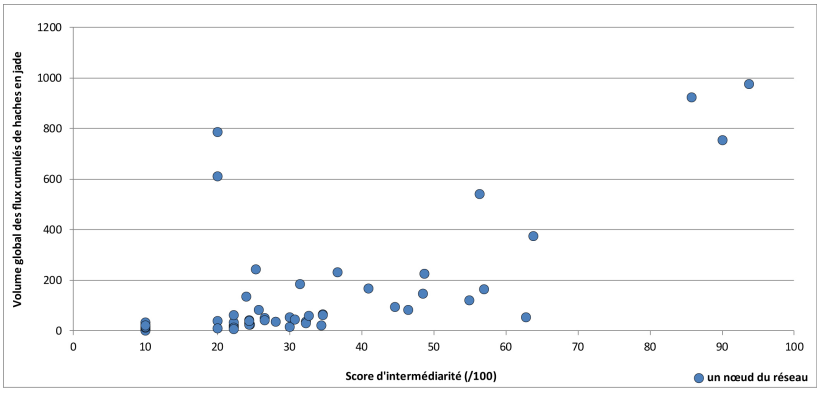


Fig. 13 : Confrontation entre le score d'intermédiarité des nœuds du réseau et le volume global estimé des flux de haches en jade. Chaque point du graphique correspond à un nœud du réseau. La corrélation entre les deux paramètres est peu élevée. Bien que les nœuds possédant la meilleure intermédiarité présentent des valeurs de flux globalement plus élevées, d'autres nœuds avec un score faible d'intermédiarité ont vu transiter un nombre important de haches en jades

Malgré tout, certains nœuds qui ont des avantages théoriques au sein du réseau n'affichent pas une importance à la mesure de leur potentiel, les flux estimés restant assez faibles. Au contraire, certains nœuds, qui pourtant ont un potentiel peu élevé concentrent un nombre important de haches. En effet, même si les avantages procurés par leur position au sein du réseau ont sans doute exercé un rôle dans le développement de certains centres, ce n'est vraisemblablement pas le seul critère, ni le plus important, qui ait joué sur les flux des haches en jades. Il est en effet essentiel de prendre en compte le fait que les distances en action ne correspondent pas forcément à des distances géographiques mais avant tout à des distances sociales (Pétrequin et Pétrequin 2020). Cela aboutit à une situation en contradiction avec la notion d'accessibilité. Les transferts ont ainsi touché des régions éloignées avec un faible potentiel de connectivité. Pour ces produits à très haute valeur sociale, la force d'attraction d'élites puissantes aux confins de l'Europe a sans doute largement compensé les contraintes géographiques.

Conclusion

Appréhender la circulation d'un produit tel que les longues haches en jades alpins au Néolithique nécessite de comprendre en premier lieu ses modes de diffusion afin de tenter de reconstituer ensuite le parcours de chaque objet pris individuellement. En effet l'analyse des données par des méthodes statistiques et spatiales peut aider à reconstituer les chaînons manquants en dégageant des règles ou des tendances dans les modes de circulation. Dans notre cas, s'agissant de la diffusion d'un produit depuis une source unique, nous avons étudié la covariance* de divers indicateurs en fonction de la distance au point d'origine des transferts, ce qui permet d'identifier des fonctionnements particuliers dans une diffusion qui se veut (au départ) radiale - voire linéaire - et en sens unique (une figure théorique jamais attestée dans les exemples ethnographiques, Pétrequin et Pétrequin 2020). Les méthodes retenues associent des mesures de distribution géographique (spatiale), des approches locales par l'estimation des densités de noyaux (KED, *cf.* 11.) et des analyses de corrélation (*cf.* 5.). L'espace, mesuré par des distances euclidiennes[15], est alors soit intégré au calcul (pour les points moyens et les KED par exemple) soit considéré en tant que variable de l'analyse (régression spatiale). Dans le cas d'une analyse de réseau, l'espace est appréhendé par la position relative des différents nœuds du graphe. Nous raisonnons alors en termes de liens et de parcours. Les analyses se fondent tantôt sur des mesures en distances de chemin afin d'évaluer la portée réelle d'une diffusion, tantôt sur une quantification des relations entre les nœuds traversés dans une estimation des flux, tantôt sur une analyse de centralité lorsque l'on cherche à identifier des stratégies d'implantation ou de développement du réseau. Ainsi, dans le cadre de cette étude, les statistiques ont permis non seulement de proposer un modèle de circulation des longues haches en jade et mais également de mieux explorer la structure du réseau social qui sous-tend et conditionne la relation entre des élites réparties d'un bout à l'autre de l'Europe au cours du Néolithique (Pétrequin *et al.* 2017).

[15] Longueur de la droite qui passe entre deux points dans un espace normé. En géographie, cette distance correspond à ce que l'on nomme distance à « vol d'oiseau ».