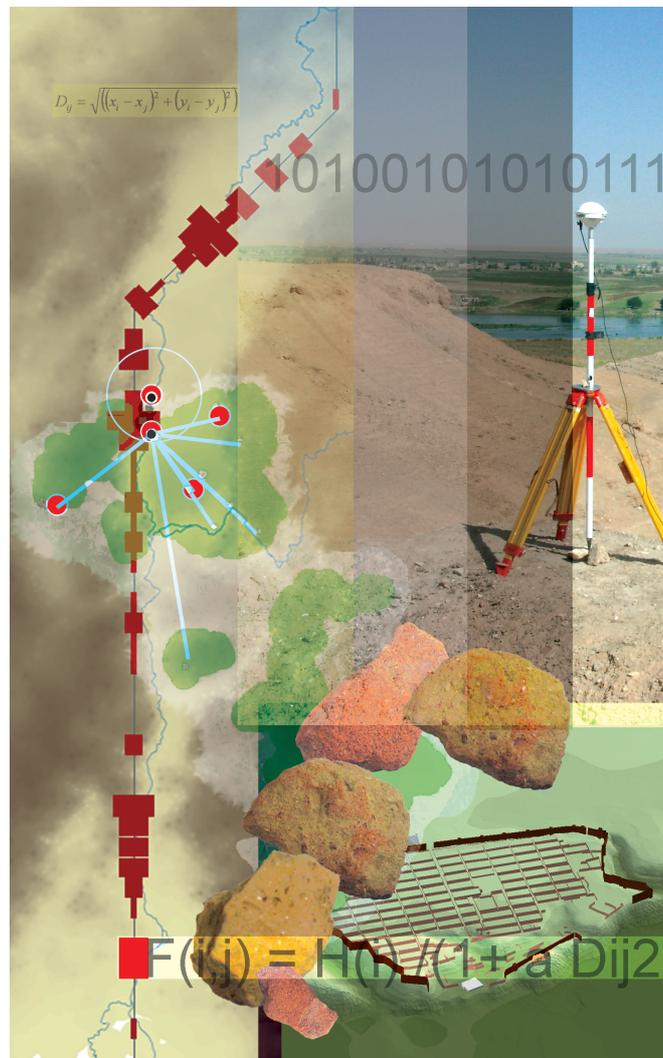


Géomatique, Analyse & Modélisation Spatiale en Archéologie

Réseau **ISA**
Information Spatiale et Archéologie
<http://www.univ-tours.fr/isa>

du 12 au 17 septembre 2005
à Messigny et Vantoux (Côte d'Or)

Support de cours - Méthodes des algèbres de carte (F. Pirot, E. Gauthier)



Méthodes d’algèbre de carte :
étude de cas pour la modélisation de la diffusion des matériaux

Françoise Pirot, CNRS-SIS-CEIAS-UMR8564 CCT MASSIG

E. Gauthier, UMR 5594, Université de Bourgogne

Support de cours

Extraits de :

➤ *Gauthier E.* « L'évolution de la consommation du métal à l'Âge du Bronze, en France orientale et en Transdanubie. The Development of Metal Consumption in eastern France and the Transdanube during the Bronze Age », *Histoire et Mesure*, n° XIX-3/4, *Systèmes d'Information Géographique, Archéologie et Histoire*, 2004, pp. 345-376.

➤ *Gauthier E.*, « Recherche d'une méthode d'analyse comparée des flux de métal à l'Age du bronze (XVIIè-IXè s.) en France orientale et en Transdanubie : utilisation et adaptation de la méthode des sommes focales », *TEMPS ET ESPACES DE L'HOMME EN SOCIÉTÉ, ANALYSES ET MODÈLES SPATIAUX EN ARCHÉOLOGIE XXVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes* Sous la direction de J.-F. Berger, F. Bertoncello, F. Braemer, G. Davtian, M. Gazenbeek Éditions APDCA, Antibes, 2005

Le travail présenté ici est issu pour partie d'une thèse réalisée dans les Universités de Bourgogne et de Budapest. Cette recherche est consacrée à la consommation du métal (c'est-à-dire, la production, l'utilisation puis le recyclage ou la déposition) au cours de l'Age du Bronze. Elle a nécessité la création d'un Système d'Information Géographique, associant une base de données des trouvailles archéologiques et des analyses spatiales.

I – Présentation du sujet

Le bronze, alliage de cuivre et d'étain est considéré comme l'un des éléments principaux de l'économie des cultures de l'Age du Bronze. On a accordé à ce métal tout au long de l'Age du Bronze une grande valeur non seulement économique, mais aussi sociale. Ses composants, le cuivre et l'étain, ne se trouvent que dans quelques régions d'Europe ; les principales ressources en étain utilisées à l'Age du Bronze proviennent des Iles Britanniques, d'Armorique, d'Espagne ; et des Alpes, d'Espagne et des Carpates, pour le cuivre.

La nécessaire mise en place de réseaux d'approvisionnement a entraîné des relations de dépendance des régions réceptrices vis-à-vis des régions productrices qui se trouvent à proximité des mines de cuivre et d'étain.

Les sources de connaissances que nous possédons concernant l'usage du bronze sont des ensembles d'objets qui ont été enfouis volontairement dans la terre (des tombes ou des dépôts) ou bien

d'armes jetées dans les eaux des rivières, des marais ou des lacs. Mais toutes ces trouvailles ne constituent que des « reliquats de la production » qui ont été sciemment écartés du circuit de consommation, pour des raisons économiques (thésaurisation, équilibrage des stocks,...), sociales (marquage du territoire, glorification de personnages haut placés dans la hiérarchie sociale,...) ou religieuses¹. Cependant, la plus grande part de la production a été refondue, car, au contraire du silex et de la céramique, les objets de bronze cassés ou passés de mode peuvent être recyclés. Les quantités de métal thésaurisé varient au cours du temps et selon les cultures, car plus qu'une nécessité, il s'agit bien d'un choix social, éminemment variable.

Le but de cette étude est d'identifier les zones de consommation du bronze, d'en comprendre les évolutions (déplacements des zones de concentrations, évolution des quantités de métal consommées, causes possibles de ces changements...), mais aussi d'envisager les mécanismes qui ont conduit à la déposition, à l'exportation ou au recyclage des objets, notamment le rôle joué par les élites dans la production et la distribution du métal.

La méthode mise en place est testée sur une période allant du Bronze moyen à la fin du Bronze final dans deux régions situées à chaque extrémité du complexe culturel Nord-Alpin, l'une proche des ressources en minerais, la Transdanubie, l'autre plus éloignée, la France orientale (**fig. 1**).

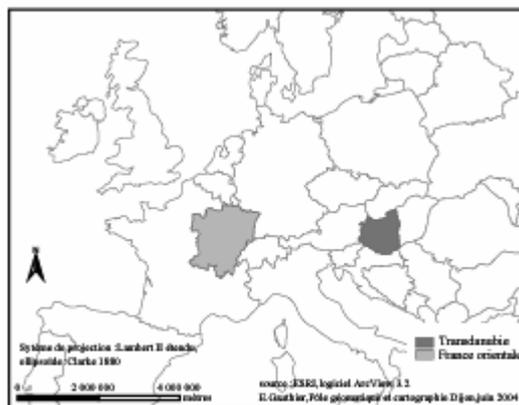


Fig. 1 : Les deux zones d'étude

Pour répondre à la problématique posée, un **Système d'Information Géographique** a été mis en œuvre. Il repose sur la création d'une base de données portant les informations nécessaires à la spatialisation des entités archéologiques indispensable pour une analyse spatiale.

Un catalogue aussi complet que possible a été réalisé à partir de recherches bibliographiques et de visites dans les musées français et hongrois. Le corpus a été organisé sous la forme d'une base de données. Les deux bases de données réalisées, une pour la France orientale et une pour la Hongrie occidentale comportent chacune 6 tables (sites, objets, habitats, tombes, dépôts, trouvailles isolées). La spatialisation des données a été réalisée sur le logiciel ArcView à partir d'un thème ponctuel des communes des deux zones d'étude.

¹ Pour Richard Bradley (1990), cela concerne tout particulièrement la déposition d'armes dans les rivières, mais, selon Koen Verlaeck (1998), les dépôts en milieu terrestre pouvaient également avoir les mêmes fonctions.

II- Recherche d'une méthode d'analyse spatiale

1- Recherche des zones potentielles de consommation du métal.

En observant la répartition des informations recueillies, nous percevons déjà quelques zones de concentration ; mais comment les mettre mieux en évidence ?

Les objets de métal, de même que l'ensemble des sites archéologiques, semblent occuper de manière privilégiée certains secteurs. Nous devons nous méfier des biais que créent les « vides » dans la répartition, mais les théories que nous avons citées plus haut proposent des modèles dans lesquels une certaine « élite sociale » concentrerait non seulement les pouvoirs, mais également les richesses économiques et tout particulièrement le bronze. Nous pouvons supposer qu'il existait en effet des zones plus riches en métal que d'autres, ne serait-ce que parce qu'elles étaient plus peuplées, ou que les besoins en métal étaient plus importants pour toute autre raison. C'est pourquoi, nous nous proposons après cette observation globale de la zone d'étude, de rechercher les zones potentielles de consommation du métal. Nous parlerons alors de « centres ». « Le centre est communément un lieu qui organise les repérages spatiaux [...]. Mais plus encore, le centre est doté de propriétés dynamiques, lieu de rassemblement de personnes et d'activités exprimant sa domination, lieu de pouvoir de décision. »².

S'il existe de tels centres à l'Age du Bronze rassemblant les richesses métalliques et contrôlant leur diffusion, la situation serait celle d'un modèle gravitaire³. Ce qui expliquerait bien entendu les concentrations de métal autour de ces « centres », mais aussi l'existence de zones moins dynamiques et moins bien dotées en métal.

Quelles données doit-on choisir ? Les objets de bronze sont naturellement les plus intéressants, mais nous devons aussi tenir compte de la répartition des sites, notamment des tombes et des habitats qui témoignent de l'implantation des populations. La déposition étant un choix, non une nécessité, nous ne retrouverons pas nécessairement du métal dans les zones les plus peuplées. Nous savons que la déposition d'objets dans les tombes ou le rassemblement de dépôts métalliques sont des phénomènes très variables (par exemple, les tombes du Bronze final 2 ne contiennent presque pas de métal), quant aux habitats, le matériel que l'on y retrouve est souvent composé d'objets cassés et abandonnés ; la majorité a été recyclée. Nous considérerons donc à la fois les objets de bronze et les sites archéologiques.

Si les cartes de répartitions s'avèrent insuffisantes pour mettre en valeur les concentrations, le calcul de densités par rapport à un maillage (c'est-à-dire la réalisation d'une tessellation ; on parlera également de grilles, ou *grids* en anglais) peut apporter des solutions intéressantes, car **les points ne**

² Jean-Jacques Bavoux 1998, p.32

³ Denise Pumain et Thérèse Saint-Julien 2001, p. 19

seront plus considérés individuellement, mais par rapport à leurs voisins. En effet, « la concentration désigne l'accumulation d'objets dans un espace restreint et se marque localement par de fortes densités et des distances réduites entre les objets »⁴

Dans un premier temps, nous créons un maillage le plus fin possible de manière à ce que chaque maille ne contienne qu'un seul point au maximum. Les maillages des régions à comparer doivent être les mêmes, or la plus petite distance entre deux points en France et en Hongrie est de 800 m, c'est pourquoi nous créons des mailles carrées de 500 m de côté. L'information est ici à la fois spatiale et thématique. Chaque maille est renseignée par ses coordonnées géographiques et par la valeur du nombre d'objets archéologiques qu'elle contient (cette information est présentée grâce à un dégradé de couleurs).

A partir de ce premier grid, nous réalisons une somme focale⁵ sur des surfaces carrées de 30km de côté. Il s'agit d'une grille mobile, ce ne sera donc pas une juxtaposition de surfaces de 30 km de côté. Le calcul est fait pour chaque maille de la grille de départ, l'une après l'autre (*figure 2*). Le nombre total d'objets est comptabilisé pour une surface 900 m² autour de chaque petite maille de 500m de côté. Les zones de concentrations en objets de métal apparaissent alors. Renouvelons ensuite l'opération pour les sites de la même période.

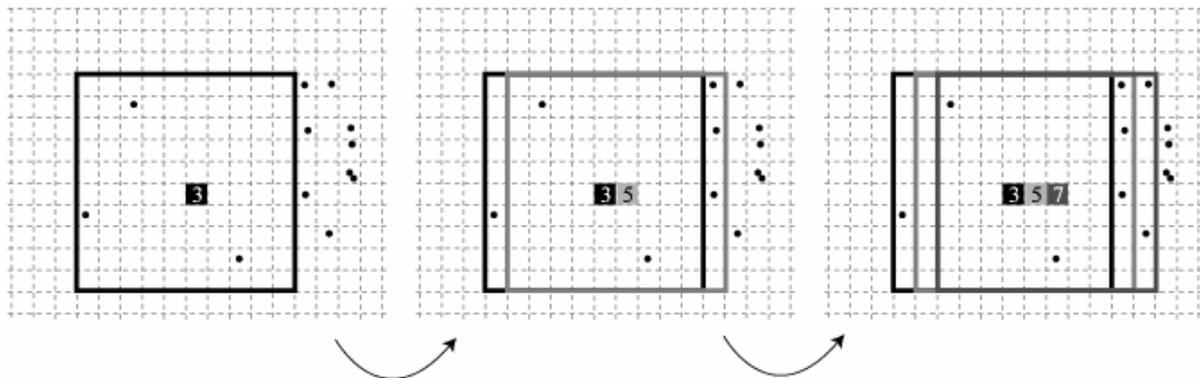


Figure 2 : méthode de la somme focale appliquée à une grille

La maille est mobile, c'est à dire que le calcul est fait à partir de chaque maille de la grille de départ.

Dans l'exemple ci-dessous, on a réalisé un maillage de 500m de côté. Une somme focale va porter dans chaque maille de 500m de côté la valeur des points qui se trouvent dans les 25km² qui l'entourent.

(soit des surfaces de 10 mailles de 500m de côté). La valeur est indiquée dans cet exemple schématique par un chiffre au centre de la maille.

Un maillage de 500 mètres de côté appliqué à une précision communale des données pose bien entendu problème, mais avec la somme focale, la valeur portée dans chaque maille prend en compte le voisinage sur une surface de 900 km², ce qui est nettement plus grand que la taille maximale des surfaces communales des deux zones d'étude. Ainsi, de par sa présence, chaque objet ou chaque site influe sur la valeur portée dans toutes les mailles dans la surface carrée de 30 km de côté qui l'entoure. Ceci permet donc de limiter le problème posé par le manque de précision lors de la

⁴ Jean-Jacques Bavoux 1998, p. 15

⁵ C. Dana Tomlin 1990

spatialisation des données, puisque quasiment toutes les mailles d'une même commune recevront une valeur identique (de plus, la valeur apportée par les objets découverts d'une commune apporteront toujours la même valeur à toutes les mailles de 500m de côté composant cette commune, les rares différences qui peuvent apparaître proviennent des points les plus éloignées dans la limite des 900km²).

Dans certains cas, nous constatons que les zones de concentration des deux grids sont sensiblement les mêmes, mais dans d'autres nous trouvons des différences intéressantes. Si nous calculons les coefficients de corrélation de Bravais-Pearson⁶ entre la fréquence des sites archéologiques et celle des objets de bronze, nous obtenons, pour le Bronze final 1 de France orientale, 0.731 ; pour le Bronze moyen, 0.981 (donc une corrélation très forte entre les deux facteurs), suggérant un lien fort entre la localisation des sites et des objets. Par contre, pour le Bronze final 2 de France orientale, nous obtenons seulement 0.083, donc une faible corrélation : les deux grilles seront donc très différentes pour cette période.

Illustrons le cas du Bronze final 1 hongrois qui est très intéressant. Une somme focale a été appliquée à la répartition des objets (fig. 3) et des sites (fig. 4).

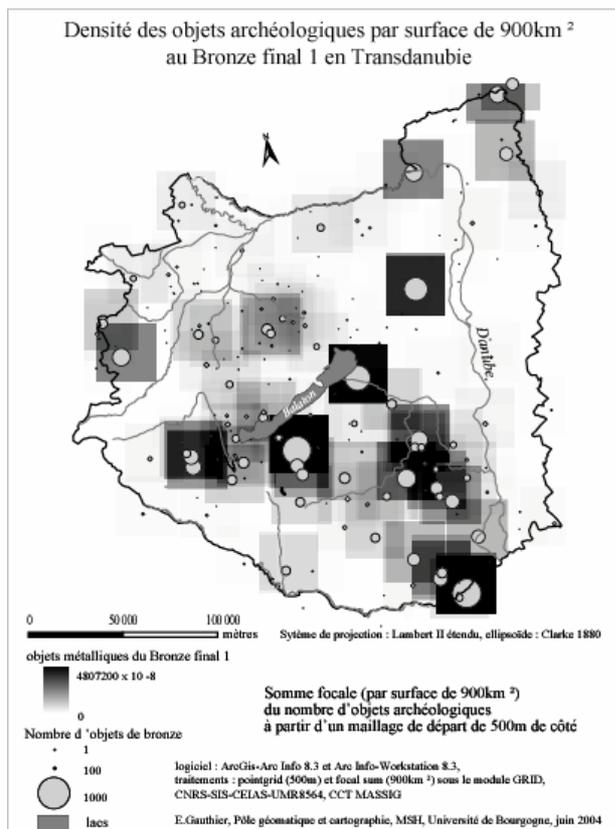


Fig. 3

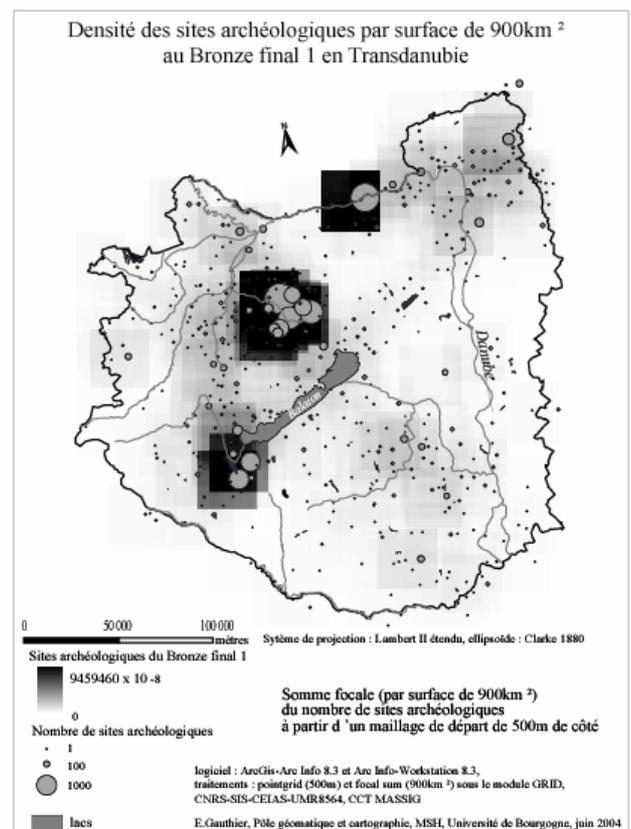


Fig. 4

Nous constatons que les objets métalliques se concentrent surtout au Sud du lac Balaton, près de Székesfehérvár et à l'extrême Nord-Est de la zone d'étude. Pour les sites archéologiques, il en va

⁶ Groupe Chadule 1994, p. 103 et communication de Christophe Batardy (DRAC Nantes) Ecole Thématique de Tours réseau ISA sept. 2003. (Voir la définition du coefficient de Bravais Pearson dans le glossaire)

tout autrement, trois zones apparaissent tout particulièrement, mais elles sont peu dotées en objets de bronze : sur les Mont Bakony au Nord du Balaton, le Nord de la zone d'étude près du Danube, et à la pointe Ouest du lac. Ceci peut s'expliquer facilement par une différence de types de sites : les concentrations d'objets sont les gros dépôts, les concentrations de sites de cette période sont surtout des nécropoles (associées à des habitats). Or les tombes contiennent relativement peu de métal, tandis que les dépôts ne forment chacun qu'un seul site. Ce qui est plus énigmatique, c'est cette différence dans leur localisation. Plus habituellement, tombes, dépôts et habitats sont regroupés dans les mêmes lieux, ce que l'on expliquait par le fait que les élites locales pratiqueraient la déposition, se seraient faites enterrer dans de riches tombes et que la population se serait regroupée autour d'elles. Il semblerait que les populations au Nord et au Sud du Balaton aient eu des coutumes différentes au Bronze final 1. Ces régions ne sont pas moins riches et chacune peut être considérée comme un « centre ».

La répartition en cercles proportionnels a été superposée pour montrer que les résultats sont tangibles, que les zones de concentrations qui apparaissent grâce à la somme focale correspondent bien aux accumulations d'objets et de sites. Ces cartes apportent peu d'informations supplémentaires, hormis une visualisation plus aisée des zones concernées par les concentrations, leur emprise spatiale et leur valeur relative (la valeur prise par les mailles). Mais elles constituent surtout un état transitoire : ces deux grilles sont destinées à être combinées dans un second temps de manière à en créer une nouvelle grille présentant les concentrations des deux indicateurs, les sites et les objets.

Il serait en effet intéressant d'associer ces grilles pour n'en faire qu'une seule regroupant tous les centres potentiels de consommation du métal. Si nous faisons la somme des deux grids précédents, nous n'obtiendrons que l'image apportée par les objets, parce que leurs valeurs sont plus élevées. L'amplitude des deux types d'information est en effet très différente. Pour pallier ce problème, nous pouvons donner à chaque information une échelle de valeurs comparable en utilisant leurs fréquences⁷. Pour comparer les deux zones d'étude aux 4 périodes, **il est nécessaire d'utiliser une échelle commune**, nous devons employer comme valeurs de référence le nombre total pour les deux zones d'études et les 4 périodes. Il est maintenant possible de réaliser des opérations algébriques sur les grids, somme, moyenne, ou valeur maximale.

La **fig. 5** présente donc les zones potentielles de consommation du métal, les « centres » du Bronze final 1 de Transdanubie, à partir de la somme des grids des fig. 3 et 4. Chaque maille présente la somme des fréquences des sites et des objets (en échelle commune pour les 4 phases et les deux régions). Nous retrouvons donc, comme avec les sites, la zone située au Nord du Balaton et celle à la pointe Ouest du lac. Les parties qui correspondent aux concentrations en objets sont aussi bien visibles, on retrouve notamment la partie au Sud du Balaton, une autre près de la rivière Sió et l'extrême Sud de la Transdanubie. La région de Székesfőhervár, la pointe orientale du lac et l'extrême Nord-Est semblent être assez importantes aussi. Nous avons donc une vision complète des zones

⁷ Guy Chemla 1995, p.15

privilégées pour la consommation du métal, qui prennent en compte des valeurs relatives à une échelle commune.

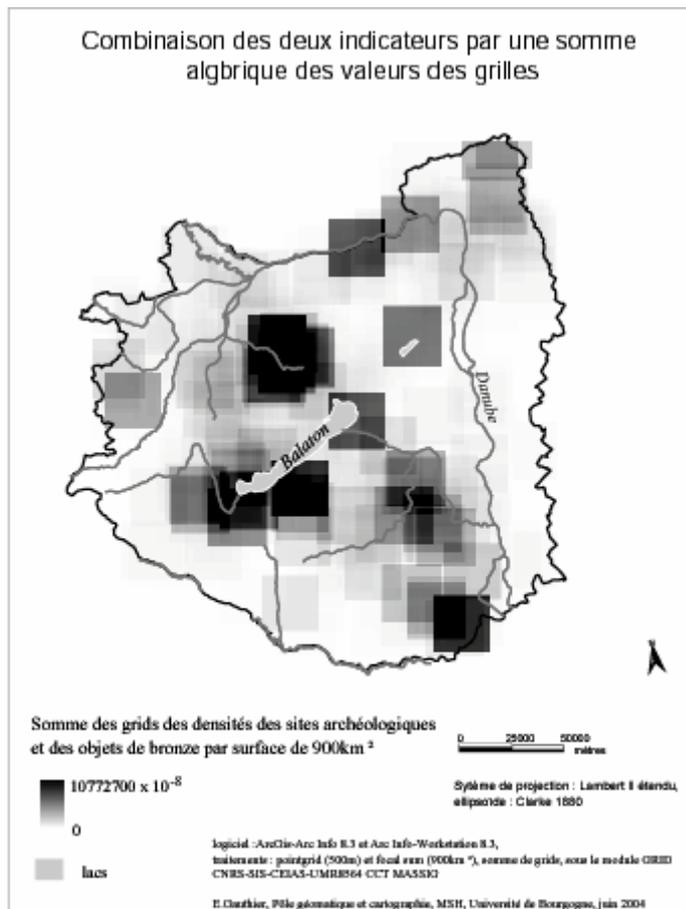


Fig. 5

2- Expression de la valeur sociale et économique.

La méthode des sommes focales appliquée à un maillage d'une zone permet de combiner et comparer un grand nombre d'indicateurs à condition d'utiliser des valeurs comparables. Au-delà de la simple répartition des zones de consommation du métal, cette étude est aussi l'occasion d'examiner les mécanismes qui ont conduit à la déposition des objets de bronze, notamment le rôle joué par les notables dans la distribution du métal. En effet, la production des objets de prestige, leur acheminement sur de longues distances et leur mise en dépôts seraient contrôlés par l'élite, comme le suggèrent les études de plusieurs chercheurs anglophones (par exemple, Bradley, 1990 ou encore Kristiansen, 2000).

Les contextes de thésaurisation sont donc de précieux indicateurs de la manière dont les populations concevaient leur image. Chaque site archéologique et leurs objets de bronze représentent les différences entre les personnes de deux manières : les unes permettent la reconnaissance des différences de « statuts » entre les individus à travers leurs possessions (les objets de grand prestige sont par exemple plus représentatifs que les outils). Cinq indicateurs de ce que nous appelons la

« valeur sociale » portent cette information : les trouvailles de rivières, les dépôts, les tombes, les objets de prestige, la densité d'implantation des populations.

La seconde image apportée par l'objet métallique est celle d'une certaine valeur associée à la possession du métal, que nous appelons « valeur économique ». Le bronze est cher, il est au cœur d'enjeux économiques et commerciaux. L'image présentée par les assemblages de bronzes déposés donne l'impression d'une certaine « richesse » liée à la possession du métal. Les différents contextes de découverte permettent là aussi de considérer cinq témoins complémentaires.

Il est très important de combiner ces différents indicateurs entre eux pour limiter en partie trois problèmes qui risqueraient d'influencer notre vision de la zone d'étude si nous les considérons individuellement : le recyclage, les choix culturels (il existe une grande variabilité des quantités de métal présentes dans les différents contextes de thésaurisation), l'hétérogénéité spatiale des quatre contextes de découverte liée à des inégalités de prospection, à des variations de la conservation des vestiges ou des accès plus difficiles à la documentation. La combinaison de tous les indicateurs devrait permettre de relativiser la valeur présentée par chacun et de compenser en partie ces problèmes.

Ces informations étant de nature qualitative, il paraît plus simple de les comparer à l'aide d'un système de scores conçu pour chacun des indicateurs de manière à prendre en compte la valeur relative des sites. Une observation de l'ensemble des découvertes des quatre périodes et dans les deux régions a permis de leur attribuer des scores de 0 à 6 points. Il s'agit donc d'un système créé en échelle commune qui permettra les comparaisons spatiales et chronologiques.

Une fois le système de scores complété pour les dix indicateurs, on réalise pour chacun une somme focale qui déterminera les zones de concentration des plus fortes valeurs. Il est ensuite possible de combiner les cinq grilles associées à la valeur « sociale » et les cinq grilles associées à la valeur « économique » (grâce à une somme ou une moyenne des valeurs des mailles ou encore une recherche du maximum) pour obtenir deux cartes à comparer. On cartographie la soustraction des deux grilles (il s'agit d'une opération algébrique portant sur les valeurs des mailles des deux grilles parfaitement superposables).

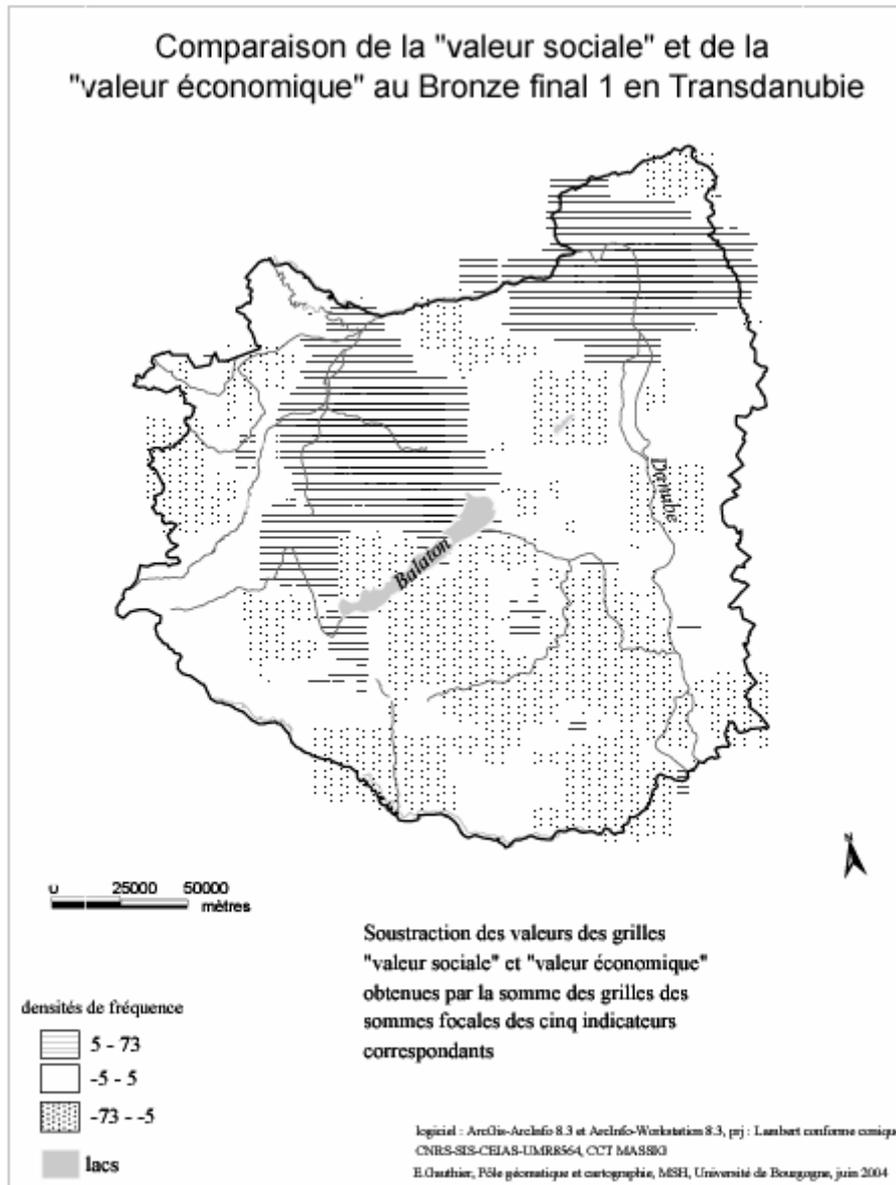


Fig. 6

L'exemple du Bronze final 1 de Transdanubie est là encore particulièrement intéressant (**fig. 6**), car il montre l'existence de zones très différentes : en rouge apparaissent les régions où les scores correspondant à la valeur sociale sont plus importants que ceux de la valeur économique, les monts Bakony et le nord de la Transdanubie ; en bleu les régions de type opposé, correspondant au sud de la zone. Ces différences s'expliquent par la nature des découvertes : au Nord, nous connaissons de grandes nécropoles tumulaires qui ont fourni bon nombre d'objets de prestige (Boulud, 2003); au Sud, les dépôts très volumineux sont composés de centaines de faucilles (Mozsolics, 1985). Ainsi les populations installées de part et d'autre du lac Balaton paraissent avoir eu des coutumes différentes (nous insistons sur le fait que ce sont des images proposées par les découvertes, notamment les objets thésaurisés).

La même méthode peut être employée pour les comparaisons chronologiques : la soustraction des grilles représentant les zones potentielles de consommation du métal du Bronze final

2 et du Bronze final 1 permet de mettre en évidence les évolutions de l'organisation de la zone d'étude entre ces deux phases (**fig. 7**).

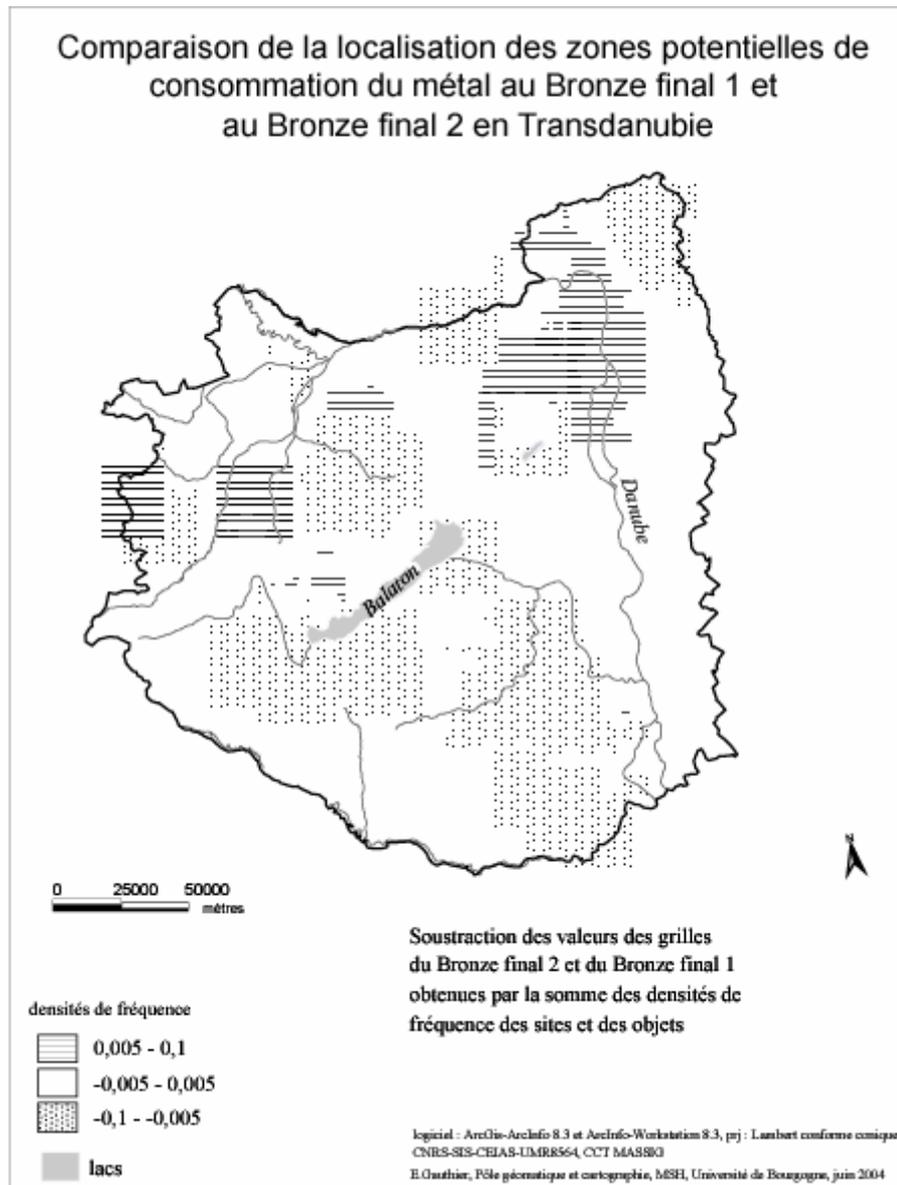


Fig. 7

Conclusion

L'utilisation de la méthode des sommes focales associées à des opérations sur les grilles permet d'obtenir des résultats particulièrement intéressants pour la problématique de cette recherche. L'un des avantages majeurs de la méthode mise au point par C. Dana Tomlin est de ne prendre en compte que les données existantes sans nécessiter aucune estimation. Elle reconstitue la continuité spatiale sans supposer au préalable la continuité du phénomène étudié. Pour employer cette technique, il convient néanmoins de veiller à respecter certaines conditions : utiliser des valeurs comparables lors de la combinaison de plusieurs critères, et qui soient en échelle commune si l'on souhaite faire des comparaisons chronologiques ou spatiales. Dans ces conditions, les résultats que l'on peut attendre de

cette méthode sont la mise en évidence des zones de concentration (leur localisation mais aussi leur amplitude spatiale et leur valeur relative), la possibilité de combiner plusieurs indicateurs pour obtenir une carte unique de leurs concentrations et la comparaison de plusieurs indicateurs par une cartographie des résidus issus de la soustraction des valeurs des grilles. Les possibilités sont donc nombreuses. Cette méthode pourrait s'avérer particulièrement intéressante pour bon nombre d'analyses spatiales en archéologie ; elle mérite ainsi d'être développée pour la compréhension des évolutions chronologiques et l'organisation des territoires aux époques anciennes.

Bibliographie :

- Jean-Jacques BAVOUX (dir.), *Introduction à l'analyse spatiale*, coll. Synthèse n°62, Paris, Armand Colin, 1998, 95 p.
- Istvan BONA (dir.), *Le Bel Age du Bronze en Hongrie*, catalogue d'exposition, ed. S.A.E.M.N. Mont Beuvray et Pytheas Editions, 1994, 224p.
- Richard BRADLEY, *The passage of arms*, Cambridge University Press, 1990, 234p.
- Patrice BRUN et Claude MORDANT (dir.), *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'Urnes*, actes du colloque international de Nemours (1986), Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile de France, 1988, 659p.
- Guy CHEMLA, *Statistique appliquée à la géographie*, Paris, FAC géographie, Nathan, 1995, 159 p.
- Groupe CHADULE, *Initiation aux pratiques statistiques en Géographie*, 3è éd., Paris, Masson, 1994, 203p.
- Tibor KEMENCZEI, *Die Spätbronzezeit Nordostungarn*, *Archéologia Hungarica*, Series Nova LI, Akadémiai Kiado, Budapest, 1984, 430p.
- Kristian KRISTIANSEN, *Europe before History*, New Studies in Archéology, Cambridge University Press, 2000, 505p.
- Claude MORDANT, Daniel MORDANT et Jean-Yves PRAMPART, *Le dépôt de Villethierry (Yonne)*, supplément à Gallia Préhistoire, t. IX, 1976, 233 p.
- Claude MORDANT, Dépôts de bronze et territoires à l'Age du Bronze en Bourgogne (XVII-IX è s. avt. J.C.), in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 185-210.
- Claude MORDANT, Les dépôts d'objets métalliques de l'Age du Bronze et de l'Age du Fer : l'Est de la France. Nouvelles approches et méthodes d'études, Documents d'Archéologie Méridionale, n°26, 2003, p. 371-376
- Claude MORDANT avec la collaboration de GABILLOT M., KROLIKOWSKI F. et SALIGNY L., Approche de la notion de flux de métal et de recyclage au sein des sociétés européennes de l'Age du Bronze, Actes du colloque de Ravello 2000, Ecole Française de Rome, in A. Lehöereff (dir.), *l'Artisanat métallurgique dans les sociétés anciennes en Méditerranée occidentale*, à paraître

- Stuart NEEDHAM, Modelling the flow of metal in the Bronze Age, in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 285-298.
- Jean-Pierre NICOLARDOT et Stéphane VERGER, le dépôt des Granges-sous-Grignon (commune de Grignon, Côte-d'Or), in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 9-31
- Jean-François PININGRE, Les dépôts de Franche-Comté: Analyse spatiale, in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 211-222.
- Denise PUMAIN et Thérèse SAINT-JULIEN, *L'analyse spatiale.1 Localisations dans l'espace*, Paris, Armand Colin, Cursus, 1997, 167 p.
- Denise PUMAIN et Thérèse SAINT-JULIEN, *L'analyse spatiale.2 Les interactions spatiales, Flux et changements dans l'espace géographique*, Paris, Cursus, Armand Colin, 2001, 479 p.
- Francis A. SCHAEFFER, *Les Tertres funéraires préhistoriques dans la forêt de Haguenau, II – Les tumulus de l'Age du Bronze*, Haguenau, 1926, 279p.
- Thomas STEPNIAK, *Quantitative aspects of Bronze Age metalwork in Western Poland*, BAR International Series 317, 1986
- Jean-Paul THEVENOT, *L'Age du Bronze en Bourgogne, le dépôt de Blanot* (Côte-d'Or), in 11^e supplément à la Revue archéologique de l'Est, Dijon, 1991.
- C. Dana TOMLIN, *Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990, 249p.
- Cécile VEBER, Introduction à l'étude du dépôt de Farébersviller (Moselle) et production métallique du Bronze final III en Lorraine, in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 41-54.
- Koen VERLAEKT, Metalwork consumption in Late Bronze Age Denmark, in Claude Mordant, Michel Pernot, Valentin Rychner (dir.), *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e s. au VIII^e s. avant notre ère*, t.III, *Production circulation et consommation du bronze*, actes du colloque « Bronze'96 », Neuchâtel et Dijon, CTHS et CRTGR Université de Bourgogne, Paris, 1998, p. 259-270.
- Stéphane VERGER, L'épée du guerrier et le stock de métal de la fin du Bronze ancien à l'Age du Fer, *Cahiers d'Archéologie Romande, L'Age du Fer dans le Jura*, actes du 15^e colloque de l'association française pour l'étude de l'Age du Fer, Pontarlier (France) et Yverdon-les-Bains (Suisse), 1991, p. 135-151.