



**HAL**  
open science

# L'analyse spatiale des nécropoles revisitée : l'exemple de la nécropole de l'âge du Fer final et du début de l'époque gallo-romaine de Lamadelaine (Grand Duché de Luxembourg)

Eline Deweirdt, Philippe de Maeyer, Patrice Méniel, Jeannot Metzler, Christophe Petit, Jean Bourgeois

## ► To cite this version:

Eline Deweirdt, Philippe de Maeyer, Patrice Méniel, Jeannot Metzler, Christophe Petit, et al.. L'analyse spatiale des nécropoles revisitée : l'exemple de la nécropole de l'âge du Fer final et du début de l'époque gallo-romaine de Lamadelaine (Grand Duché de Luxembourg). *Archäeologisches Korrespondenzblatt*, 2012, 42 (2/12), pp.185-204. halshs-00708687

**HAL Id: halshs-00708687**

**<https://shs.hal.science/halshs-00708687v1>**

Submitted on 7 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **L'ANALYSE SPATIALE DES NÉCROPOLES RÉVISITÉE**

### L'EXEMPLE DE LA NÉCROPOLE DE L'ÂGE DU FER FINAL ET DU DÉBUT DE L'ÉPOQUE GALLO-ROMAINE DE LAMADELAINE (GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG)

L'étude des nécropoles se distingue nettement de celle des sites d'une autre nature tels que les établissements ruraux, les villages ou les sanctuaires. En effet, comme Demoule (1982) l'a décrit, dans de nombreux cas, les nécropoles sont caractérisées par des structures parfaitement délimitables et dont la formation est instantanée. Les vestiges y sont déposés intentionnellement, souvent au même moment et entiers. Ces différences par rapport aux autres types de sites archéologiques vont alors influencer le choix des analyses quantitatives et spatiales à mettre en œuvre.

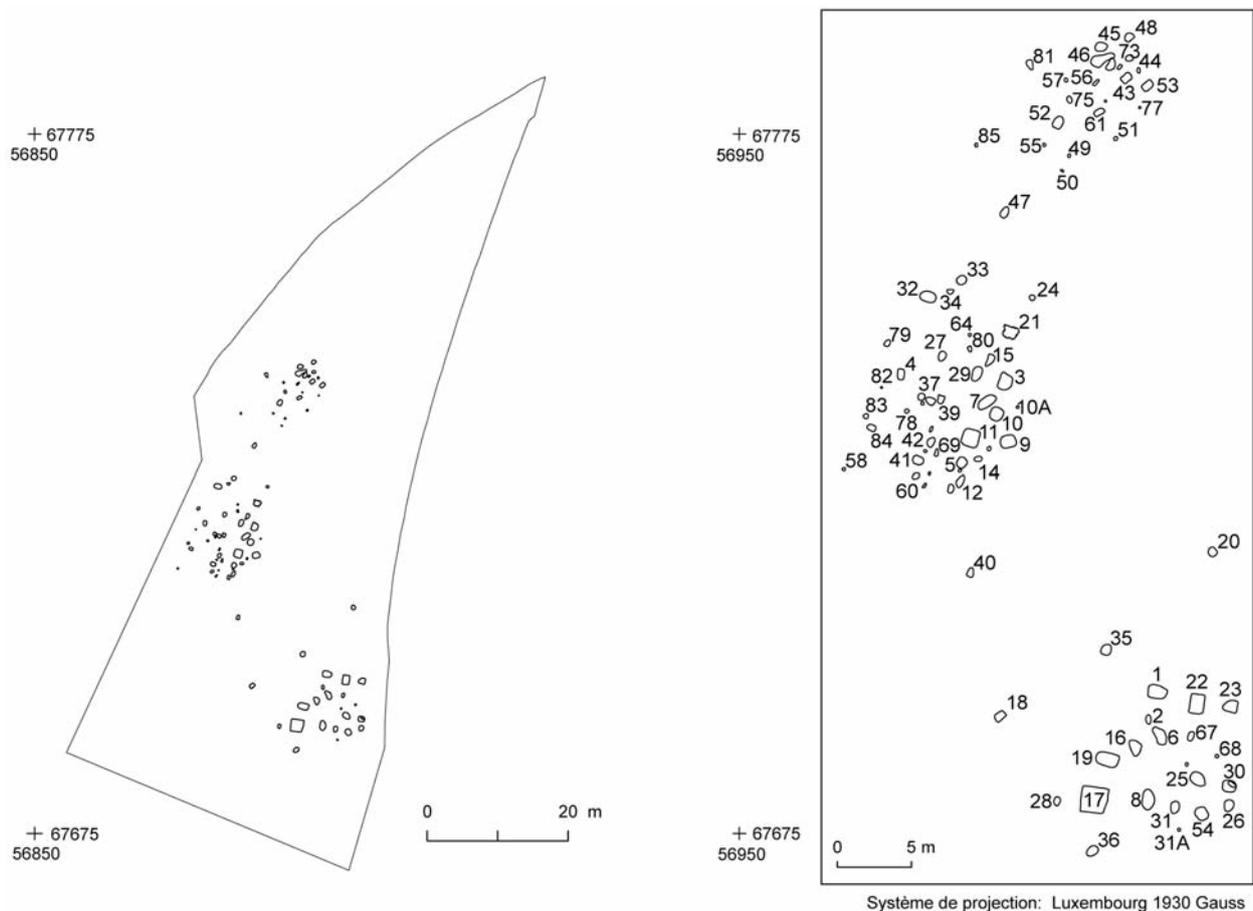
Traditionnellement, les analyses de nécropoles se divisent en deux groupes. On trouve d'abord tout un éventail d'analyses concernant l'organisation des structures déterminant la nécropole. Nous distinguons les analyses purement spatiales, mises en œuvre à partir de la localisation en termes de coordonnées  $(x, y)$  des objets spatiaux, et les analyses orientées vers les aspects socio-économiques (âge, sexe, richesse, statut) à partir du mobilier retrouvé dans la tombe, de sa combinaison et de sa quantité.

On trouve ensuite les analyses qui se concentrent sur la chronologie de la nécropole et la datation relative des tombes. Le mobilier, souvent déposé intact, permet de construire des typologies qui à leur tour forment la base pour des sériations. Ces techniques, fondées sur des principes mathématiques, ont une longue histoire en archéologie (Petrie 1899; Brainerd 1951; Robinson 1951; Cowgill 1968; Cowgill 1972; Kendall 1963; Régnier 1977; LeBlanc 1975; Marquardt 1978). La méthode la plus souvent mise en œuvre actuellement est l'analyse factorielle des correspondances (Hill 1974; Djindjian 1977; Bølviken et al. 1982). Un des objectifs de cet article est de tester et d'évaluer cette méthode de sériation et d'enquêter sur son utilité dans le cadre d'une analyse spatiale des fosses d'une nécropole.

L'ensemble des analyses proposées dans cet essai portera sur le site de Lamadelaine (Ct. Esch-sur-Alzette/L; Metzler et al. 1999), une nécropole de référence dans le domaine. Cette étude s'intègre dans une recherche plus large sur l'analyse spatiale intra-site de sites protohistoriques et gallo-romains dans le nord et l'est de la Gaule (Deweirdt 2010).

### **LAMADELAINE: LA NÉCROPOLE ET SON PLAN**

La nécropole de Lamadelaine se situe au Grand-Duché de Luxembourg, à proximité des frontières avec la France et la Belgique. Située sur la rupture de pente des versants septentrionaux du Titelberg (Ct. Esch-sur-Alzette), elle correspond à (une partie de?) la nécropole occidentale de cet oppidum central des Trévires (Metzler et al. 1999). Son étendue exacte n'est pas connue à cause des extractions minières modernes qui ont profondément bouleversé le site. Néanmoins, sur une surface de plus de 3000 m<sup>2</sup>, plus de 80 tombes et fosses à offrandes de tailles très variées et réparties en trois concentrations ont été mises au jour. L'ensemble de ces structures peut être daté principalement du 1<sup>er</sup> siècle avant notre ère<sup>1</sup>, à l'exception d'une tombe claudienne (Metzler et al. 1999).



**Fig. 1** Plan de la nécropole de Lamadelaine (Ct. Esch-sur-Alzette/L). A droite: zoom sur la nécropole avec indications des numéros des unités de fouille. – (Toutes les illustrations E. Deweydt).

Comme la plupart des publications de nécropoles, la monographie de Lamadelaine (Metzler et al. 1999) est dépourvue d'un plan détaillé. Cela est dû, entre autres raisons, à l'impossibilité de déceler les limites de la plupart des fosses sépulcrales. Les tombes sont représentées par des symboles géométriques, effaçant toute information concernant la taille et la forme des fosses. Dans le but d'obtenir une meilleure compréhension de l'organisation spatiale de la nécropole, un nouveau plan (**fig. 1**) a été élaboré à partir des données originales, notamment par géoréférencement des minutes de terrain et des dessins des unités de fouille. Il importe de mentionner que la taille des fosses correspond dans un bon nombre de cas à l'extension maximale du mobilier déposé, ce qui incite à une certaine prudence au moment des analyses et des interprétations. Néanmoins, le résultat est un plan plus détaillé et relativement complet et précis de la nécropole.

## L'ORGANISATION SPATIALE DES NÉCROPOLES

Partant de l'hypothèse que l'agencement des tombes dans une nécropole est rarement le fruit du hasard et que les modèles de développement spatial d'une nécropole peuvent être très variés et complexes (Pearson 2005), il semble peu probable d'y identifier une distribution aléatoire des structures funéraires. Tout d'abord, la configuration est au moins partiellement déterminée par la chronologie. Suivant une logique d'implantation spatiale, quand une nécropole s'étend dans une ou plusieurs directions, les tombes dans un secteur seront d'une date différente des tombes situées dans un autre secteur de la nécropole.

Cependant, de nombreux autres facteurs peuvent déterminer une organisation spatiale, comme des différences concernant le sexe, la famille et le statut des défunts.

La plupart des plans de nécropoles se présentent alors sous quelques formes bien définies, comme décrites par Pearson (2005, 11-13): organisation linéaire, segmentée, concentrique ou – réservée aux tombes à inhumation – segmentée de manière linéaire (côte à côte ou tête-bêche). Le plan de la nécropole de Lamadelaine semble être un exemple de modèle segmenté simple. Trois grands groupes, séparés par des espaces vides, y sont reconnaissables (Metzler et al. 1999). Néanmoins, la délimitation des groupements n'est pas toujours facile à déterminer et l'attribution de certaines tombes à un des groupes n'est pas toujours évidente. Un autre problème se pose quant à l'échelle spatiale de l'observation. Un groupement peut être visible à une certaine échelle, mais le même phénomène peut disparaître à une échelle plus grande, par exemple à l'intérieur des trois grands groupes. Afin d'apporter des éléments de réponse à ces deux questions, il faut faire appel aux statistiques spatiales.

Dans de telles analyses mathématiques, la définition et le choix de la zone d'étude sont très importants, car ils peuvent influencer les résultats de l'analyse. Pour la nécropole de Lamadelaine, nous avons choisi un rectangle entourant l'ensemble des tombes correspondant ainsi à l'extension maximale de (la partie connue de) la nécropole, élargie de 2 m. Ces dernières sont également arbitraires et dépendent de différents facteurs. A Lamadelaine, le décapage a été effectué dans une zone limitée par la route et la limite de parcelle. Un autre avantage d'un rectangle défini arbitrairement est qu'il peut être transposé sur d'autres nécropoles, facilitant ainsi la comparaison. A Lamadelaine, ce rectangle couvre une surface de 1795 m<sup>2</sup> pour une longueur d'environ 60 m et une largeur d'environ 30 m.

La totalité de (la partie connue de) la nécropole sera analysée, toutes périodes confondues. Quasiment aucun recoupement n'a été constaté lors de la fouille, et nous pouvons donc considérer que les tombes étaient marquées en surface et visibles pendant toute la période d'utilisation de la nécropole (Metzler et al. 1999). 87 structures seront donc prises en compte: 74 unités de fouille où l'attribution dans la catégorie des tombes est quasi certaine et 13 unités de fouille où la mauvaise conservation ne permet pas de savoir si nous sommes en présence d'une tombe ou d'une fosse à offrande. Afin de pouvoir appliquer les méthodes de distances entre individus, il a fallu convertir le plan des structures en un semis de points en calculant les centroïdes des polygones dessinant chacune des tombes. Les analyses portent ensuite sur la forme du semis de points en la comparant à des distributions de référence.

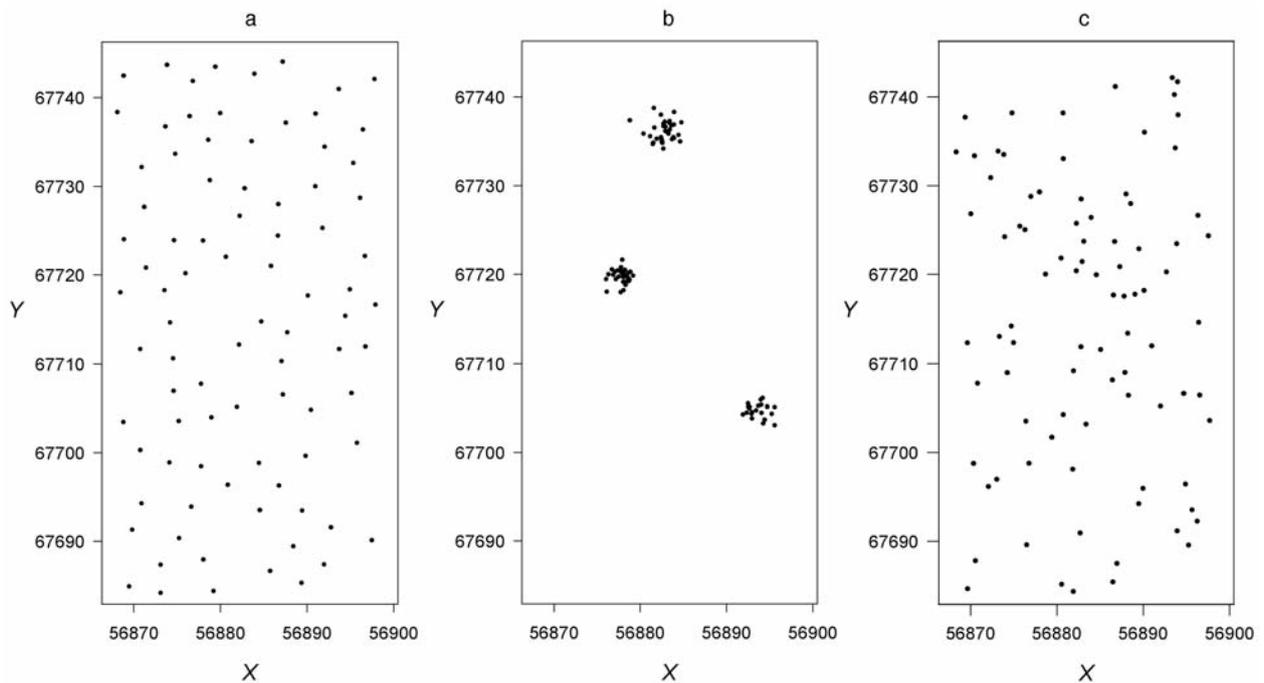
### **Quelle distribution spatiale?**

Les premières analyses dont nous parlons cherchent, à partir du semis de points, à préciser si la nécropole présente réellement un modèle segmenté et, si oui, à quelle(s) échelle(s). En général, un semis de points est caractérisé par une des trois configurations suivantes (**fig. 2a-c**):

- une distribution spatiale régulière ou uniforme,
- une distribution spatiale agrégée ou concentrée,
- une distribution spatiale aléatoire.

Une analyse spatiale d'un nuage de points est alors une forme d'analyse dans laquelle une distribution de points donnée est comparée à une distribution aléatoire. Les différences entre les deux distributions (donnée et aléatoire) sont utilisées pour suggérer une des trois configurations spatiales.

Une première méthode est la fonction  $K(r)$  de Ripley. Elle résume le rapport entre la densité locale et la densité moyenne d'un semis de points dans des cercles de rayon croissant et permet ainsi de construire un diagramme affichant la statistique calculée pour la distance du rayon de recherche. L'allure de cette fonction confrontée à l'intervalle de confiance de l'hypothèse nulle estimée à partir d'une configuration aléa-



**Fig. 2** a distribution spatiale régulière ou uniforme. – b distribution spatiale agrégée ou concentrée. – c distribution spatiale aléatoire. – (A partir des données de Lamadelaine, notamment  $n = 87$  et  $S = 1795 \text{ m}^2$  [60 m  $\times$  30 m]).

toire permet de mettre en évidence l'organisation du semis de points à différentes échelles (Zaninetti 2005). Ainsi, son objectif est d'identifier l'agrégation ou la dispersion relative du semis de points à différentes échelles. Du fait que cette fonction  $K(r)$  suit approximativement une loi exponentielle croissante, Besag (1977) a proposé la fonction dérivée  $L(r)$ , qui est plus facile à lire et qui permet une interprétation immédiate en termes de structure simple (régulière, agrégée, aléatoire).

Pour la nécropole de Lamadelaine, la fonction  $K(r)$  de Ripley et sa fonction transformée  $L(r)$  ont été calculées pour les 87 points, représentant les 87 tombes et «fosses à offrandes» de la nécropole, et la zone d'étude correspondant au rectangle défini précédemment avec une surface de  $1795 \text{ m}^2$ . Pour les valeurs du rayon  $r$  entre approximativement 1 et 14 m, la fonction  $L(r)$  est en forme de cloche et en dehors de l'intervalle de confiance (fig. 3). La valeur maximale est atteinte pour environ 7 m, distance de l'ordre du rayon des concentrations. D'après cette analyse, nous pouvons conclure (avec un risque alpha de 1%) que la structure du semis à ces distances, entre 1 et 14 m, est significativement agrégée. L'hypothèse  $H_0$  de structure aléatoire peut alors être rejetée.

Néanmoins, l'inconvénient majeur des fonctions  $K(r)$  et  $L(r)$  est leur nature cumulative, car les valeurs de  $K(r)$  et de  $L(r)$  sont calculées pour des cercles de rayon successivement plus grand. Alors, il vaut mieux se diriger vers la fonction  $g(r)$ , également appelée la fonction de corrélation des paires de points ou la fonction de densité des paires de points, qui mesure l'intensité de points en anneaux (ou annulus) autour de chaque point et non en cercles de rayon croissant. Ainsi, la fonction  $g(r)$  peut détecter agrégation ou dispersion à une distance donnée  $r$  alors que les fonctions accumulatives  $K(r)$  et  $L(r)$  peuvent uniquement détecter agrégation ou dispersion jusqu'à une distance donnée  $r$  (Wiegand / Moloney 2004). En conséquence, la fonction  $L(r)$  continue, après le pic à 7 m, à indiquer un phénomène d'agrégation à des distances plus grandes, jusqu'à 14 m (fig. 3), alors que le processus y est régulier en réalité. La fonction  $g(r)$  (fig. 4), au contraire, identifie correctement l'intervalle d'agrégation dans ce nuage de points et montre en plus des «échelles critiques» (par exemple à 2,5 et 5,5 m) dans la configuration qui peuvent éventuellement être liées à des processus particuliers (Wiegand / Moloney 2004; Perry / Miller / Enright 2006).

## Identification des concentrations

L'étape suivante, après l'identification d'une structure agrégée ou d'un modèle segmenté de la nécropole, consiste à essayer de définir les concentrations et d'y attribuer les tombes. Nous avons opté pour une analyse de densité plutôt que pour une analyse de grappe (*cluster analysis*). Cette dernière attribue la totalité des tombes à une des concentrations définies. Ainsi, elle peut être une aide à la décision quand l'attribution d'une tombe à une des groupes n'est pas évidente. Cependant, il faut également considérer la possibilité qu'une tombe n'appartienne à aucune des concentrations et qu'elle se trouve donc isolée à l'écart des concentrations principales. En effet, une analyse de grappe ne permet pas la gestion des *outliers* (Baxter 2003). Il semble alors intéressant de s'orienter vers des approches qui décrivent le changement de densité des tombes.

En archéologie funéraire, la densité des tombes (nombre de tombes/m<sup>2</sup>) est souvent visualisée par des cartes en carroyage où la valeur de densité est représentée par un dégradé de couleur (par exemple Le Guen / Pinard 2007) ou par des symboles proportionnels (par exemple Šmejda 2004). Des cartes, réalisées de cette manière, ne sont pas toujours faciles à lire du fait de leur aspect très artificiel. Pour une meilleure lisibilité, nous proposons alors d'utiliser «une estimation de la densité de probabilité par la méthode du noyau» (*kernel density estimation [KDE]*), développée par Silverman (1986). Par rapport à d'autres méthodes de densité, elle donne des résultats plus lisses et plus faciles à interpréter. En effet, une *KDE* peut être considérée de manière simple comme un histogramme lissé, qui évite quelques limitations de l'histogramme et présente des avantages en termes de présentation et de généralisation de données (Baxter 2003). En réalité, une fonction de probabilité (le *kernel*) est placée à travers le nuage de points afin de créer une approximation lisse de sa distribution (Conolly / Lake 2006, 175).

Le choix du rayon d'influence (*bandwidth h*) du *kernel* autour de chaque point du semis, analogue au choix de la largeur de l'intervalle dans un histogramme (Baxter 2003), est très important. En général, il est recommandé d'expérimenter avec plusieurs valeurs différentes pour *h*. Des rayons trop larges produiront des distributions lisses alors que des rayons trop étroits provoqueront des pics autour de concentrations de données qui ne reflètent pas forcément la distribution réelle (Conolly / Lake 2006). Néanmoins, la fonction  $K(r)$  de Ripley peut servir à optimiser le paramétrage du rayon d'influence *h* (Zaninetti 2005).

Pour la nécropole de Lamadelaine, la densité de probabilité par la méthode du noyau (fig. 5) a été estimée pour un rayon de 7 m, correspondant au pic dans le graphique de la fonction transformée  $L(r)$  de l'analyse  $K(r)$  de Ripley (fig. 3). Les contours représentent respectivement 50, 75 et 95% du volume de la fonction

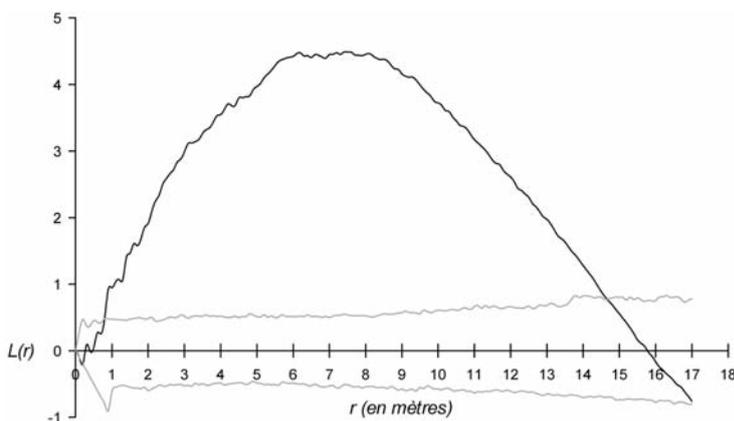


Fig. 3 La fonction  $L(r)$  appliquée aux tombes de la nécropole de Lamadelaine. Les lignes grises indiquent l'intervalle de confiance.

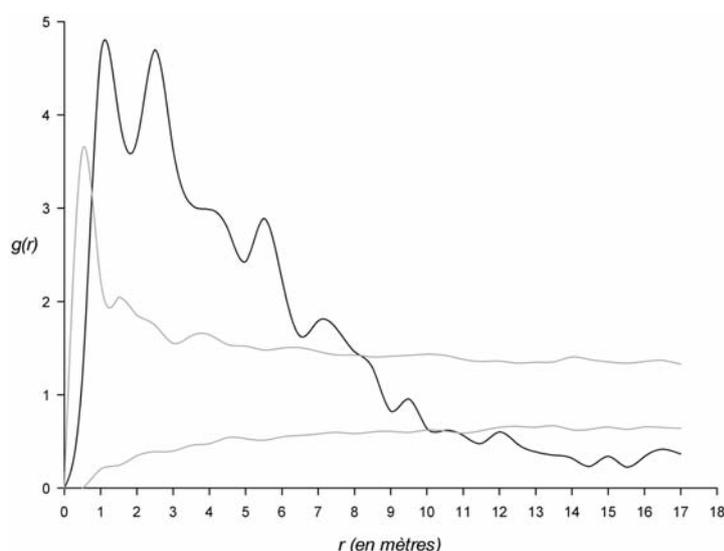
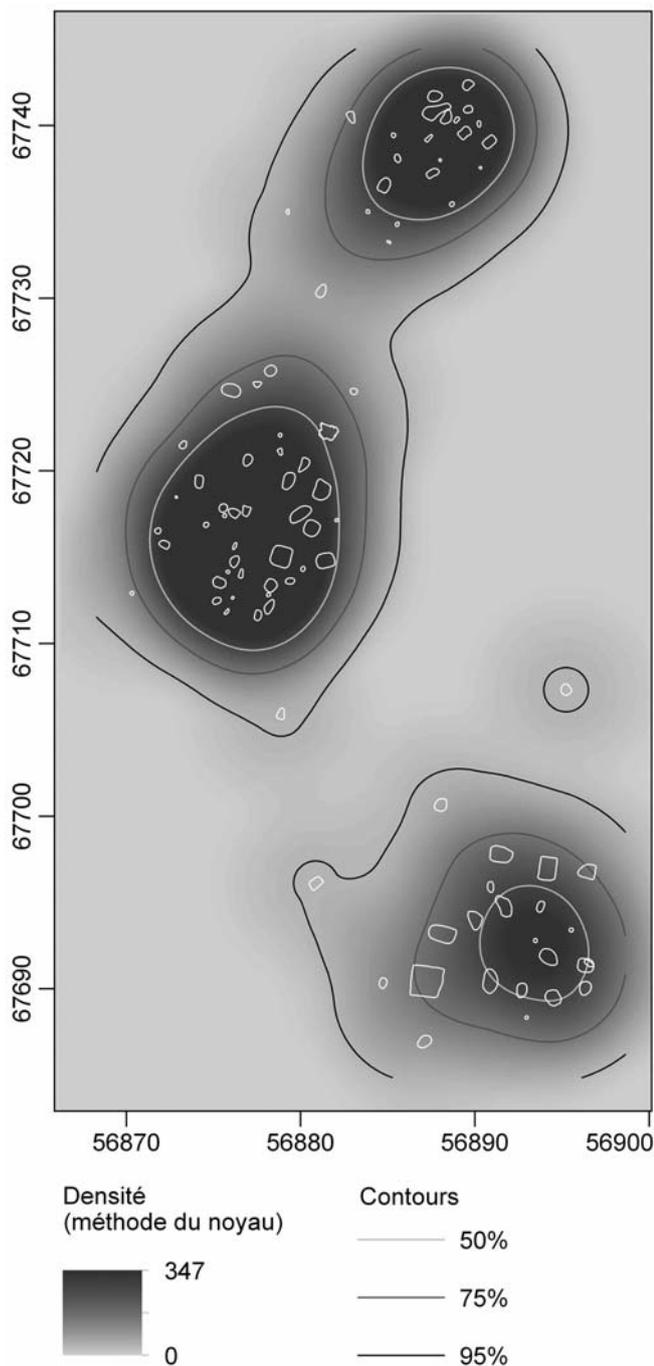


Fig. 4 La fonction  $g(r)$  appliquée aux tombes de la nécropole de Lamadelaine. Les lignes grises indiquent l'intervalle de confiance.



**Fig. 5** Estimation de la densité de probabilité par la méthode du noyau des tombes de la nécropole de Lamadelaine (rayon = 7 m), avec indication des contours de 50, 75 et 95%.

de densité de probabilité (FDP). Ainsi, en théorie, le contour à 95% du volume devrait contenir en moyenne 95% des tombes utilisées pour générer l'estimation de la densité de probabilité par la méthode du noyau, le contour à 75% du volume devrait contenir en moyenne 75% des tombes, etc.

Remarquons que le contour à 95% du volume de la FDP concerne ici l'ensemble des tombes. La première concentration, au sud, est bien individualisée. Par contre, les concentrations 2 (centre) et 3 (nord) ne sont pas séparées à ce niveau. La tombe 20, au nord de la concentration 1, est encerclée seule et peut être considérée comme un *outlier*. Le contour à 75% du volume de la FDP individualise bien les trois groupes. Plusieurs tombes de petite taille se situent alors à la périphérie. Le contour à 50% du volume de la FDP accentue le noyau des trois grandes concentrations.

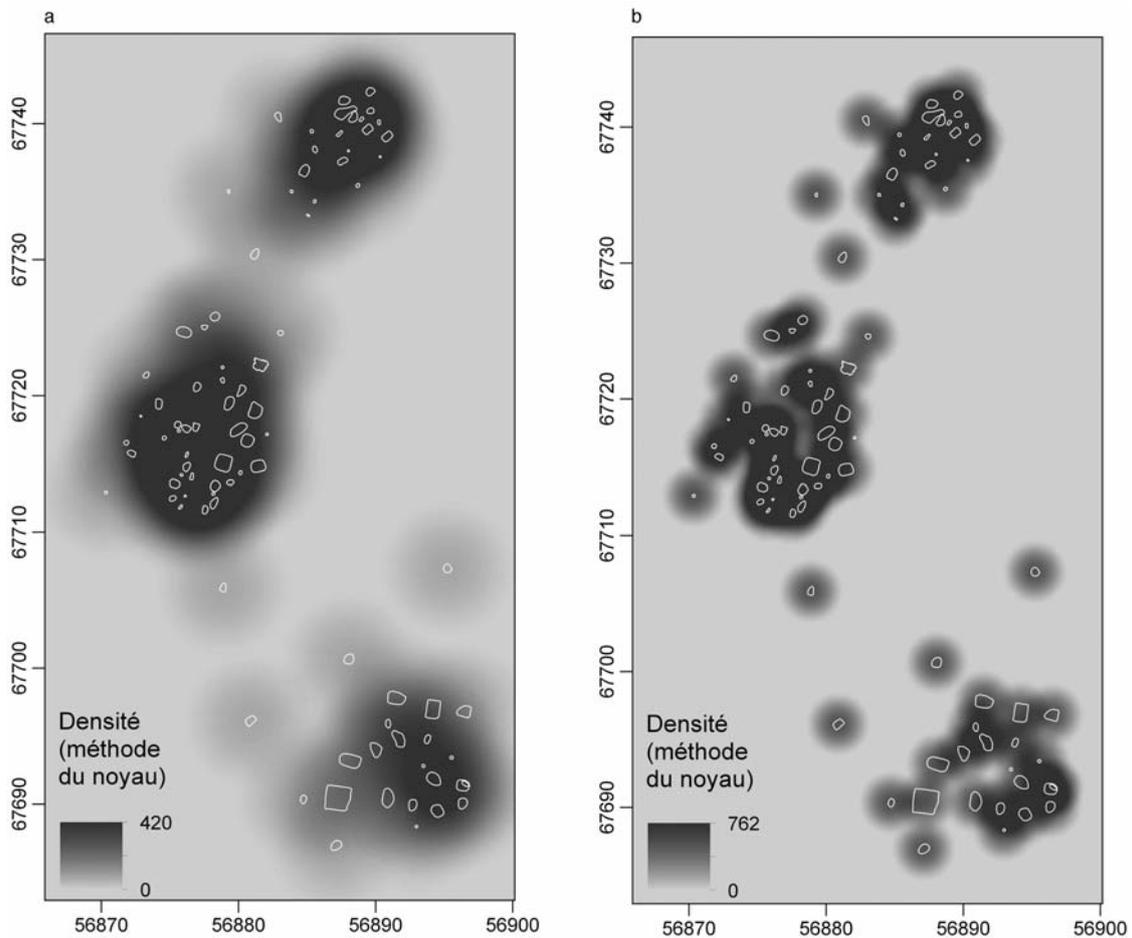
La densité de probabilité par la méthode du noyau a également été estimée pour les rayons de 5,5 et 2,5 m (fig. 6), «échelles critiques» dans la configuration d'après la fonction  $g(r)$ . Alors que l'analyse pour un rayon de 5,5 m, en accentuant le noyau des trois groupes, n'apporte guère plus d'informations; l'analyse pour 2,5 m est surtout intéressante en ce qui concerne la concentration centrale. Une séparation apparaît dans la partie supérieure du groupe entre les grandes tombes dans la partie orientale du groupe et les tombes plus petites dans la partie occidentale.

### Identification des directions préférentielles

Des nécropoles peuvent également être caractérisées par une configuration anisotrope. Il semble évident que dans une nécropole présentant, par exemple, un modèle linéaire (voir ci-dessus) des effets directionnels dans le nuage de points peuvent

être identifiés. De ce fait, par rapport à une des sépultures dans le nuage de points, le point focal, on peut se poser la question si les tombes restantes se situent plutôt dans certaines directions cardinales que d'autres. Cette question peut être répétée en utilisant chaque tombe comme point focal et en examinant la distribution des tombes restantes par rapport à chaque point focal.

Nous proposons l'analyse par ondelettes angulaires, une méthode développée par Rosenberg (2004) pour identifier les directions dans lesquelles la plupart des points peuvent être trouvés. Elle a déjà été évoquée dans le domaine de l'archéologie par Markofsky / Bevan (2012). L'espace autour des points focaux est divisé



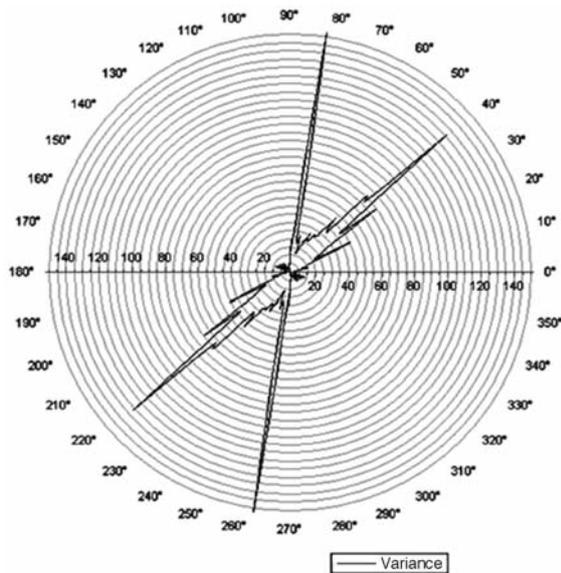
**Fig. 6** Estimation de la densité de probabilité par la méthode du noyau des tombes de la nécropole de Lamadelaine: **a** rayon = 5,5 m. – **b** rayon = 2,5 m.

dans des secteurs d'un degré. Ensuite, le nombre de points dans chaque secteur est compté. Ces comptages sont ensuite analysés en utilisant une fonction en ondelettes  $g(x)$ , ici celle du «French Top Hat», où chaque secteur est considéré comme un quadrant et en reconnaissant que les secteurs de début et de fin sont en fait adjacents. Enfin, le résultat de l'analyse peut être représenté dans un graphique montrant la variance. Des pics dans cette variance indiquent des directions dans lesquelles la plupart des autres points se situent de manière relative par rapport au point focal.

Pour la nécropole de Lamadelaine (**fig. 7**), nous identifions deux grands pics, un premier à  $41,5^\circ$  et un deuxième à  $81,5^\circ$ . Les tombes du site seraient alors organisées selon deux directions préférentielles. En transmettant ces directions sur le plan de la nécropole (**fig. 8**), nous pouvons constater, également à l'aide de quelques sépultures qui présentent ces mêmes orientations, que le premier groupe ainsi que des tombes dans la partie orientale du deuxième groupe correspondent à la direction de  $81,5^\circ$  alors que le troisième groupe correspond à la direction de  $41,5^\circ$ . Pour les sépultures dans la partie occidentale du deuxième groupe, la situation est moins claire. Il semble que nous ayons affaire à un mélange des deux directions.

## L'ORGANISATION SPATIO-TEMPORELLE

Le moyen le plus simple pour visualiser la répartition chronologique des tombes dans une nécropole est de la cartographier. Ceci est souvent appelé la «topochronologie» et combine le phasage des sépultures et leur

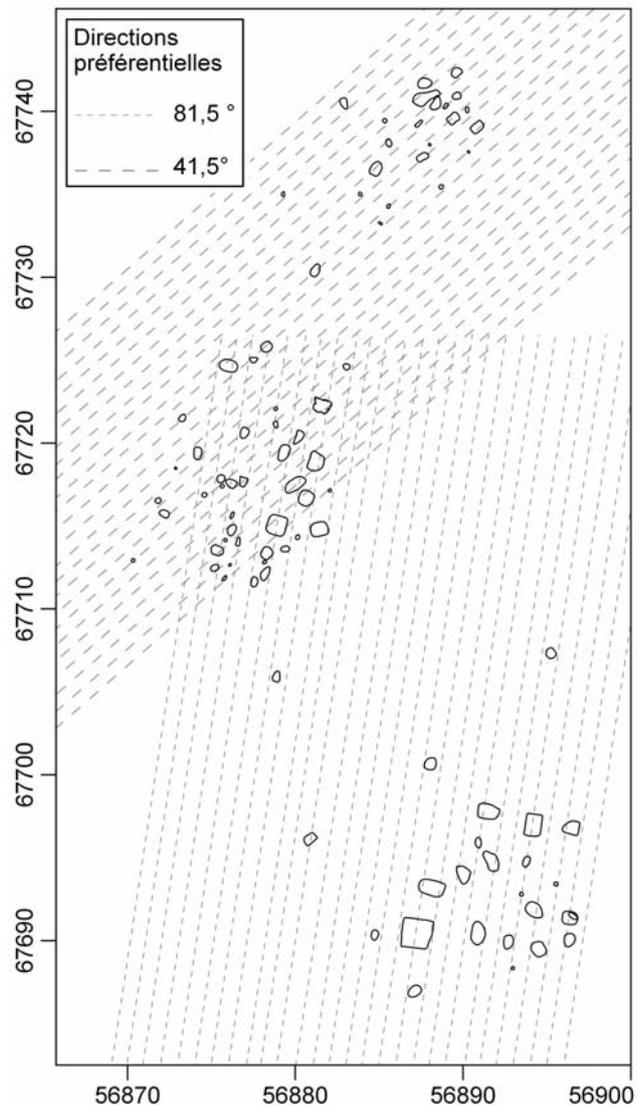


**Fig. 7** Résultat de l'analyse par ondelettes angulaires des tombes de la nécropole de Lamadelaine révélant un pic à 41,5° et un pic à 81,5°.

position géographique, afin de mettre en évidence l'évolution du site (Desenne 1997). Bien que de telles visualisations cartographiques puissent offrir une bonne impression du développement spatio-temporel d'une nécropole, elles restent statiques. Une représentation plus dynamique serait mieux adaptée à la représentation d'une évolution chronologique, ce qui nécessite tout d'abord une bonne sériation des structures du site.

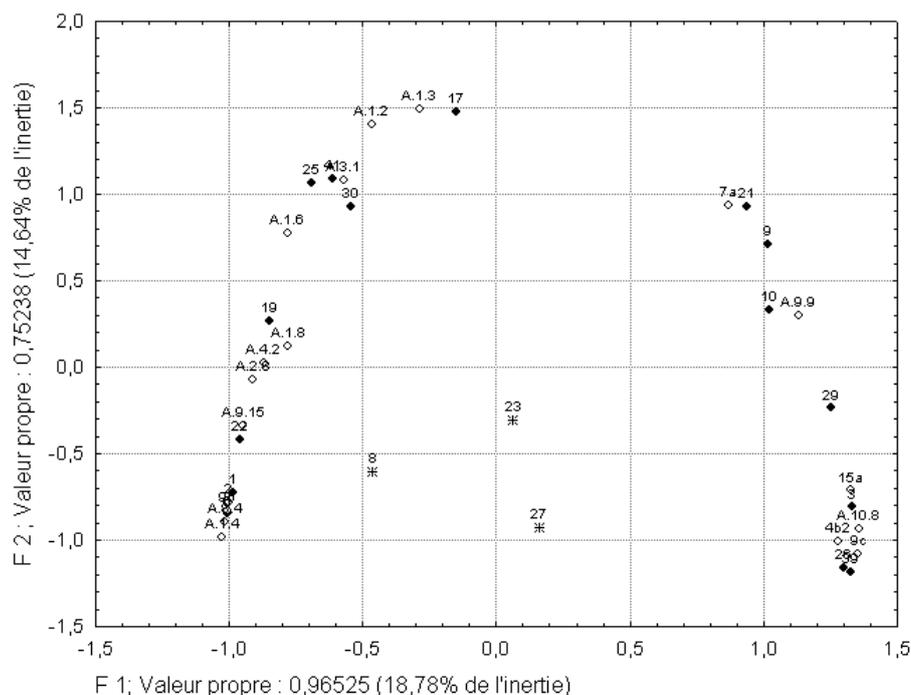
### La sériation

Depuis les années 1970 (Hill 1974; Djindjian 1977) et surtout les années 1980 (Bølviken et al. 1982), l'analyse factorielle des correspondances constitue la méthode de choix pour effectuer une sériation. Elle est basée sur une matrice de données, constituée de lignes (les unités) et de colonnes (les variables) (Lock 2003). La sélection des unités à sérier et des variables à utiliser est un problème strictement archéologique. Les données à manipuler doivent être limitées à des unités et des variables potentiellement sériables, en excluant celles qui ont des propriétés statistiques faibles (Baxter 2003). Ainsi, seules les variables chronologiquement sensibles doivent être sélectionnées pour décrire les individus à sérier et pour éviter que la sériation échoue (Djindjian 1991; Baxter 2003). De ce fait, nous préconisons de supprimer de manière itérative, les unités qui ne contiennent qu'une seule variable ainsi que les variables qui n'apparaissent que dans une seule unité. Pour la sériation des tombes de la nécropole de Lamadelaine, nous avons pris comme point de départ le tableau d'association des principaux types de fibules et de céramiques dans les sépultures, publié



**Fig. 8** Représentation des directions préférentielles identifiées par l'analyse par ondelettes angulaires sur le plan de Lamadelaine.

**Fig. 9** Sériation des tombes laténiennes de la nécropole de Lamadelaine selon l'analyse des correspondances. — ◆ unités (tombes); \* unités supplémentaires; ◇ variables (types).

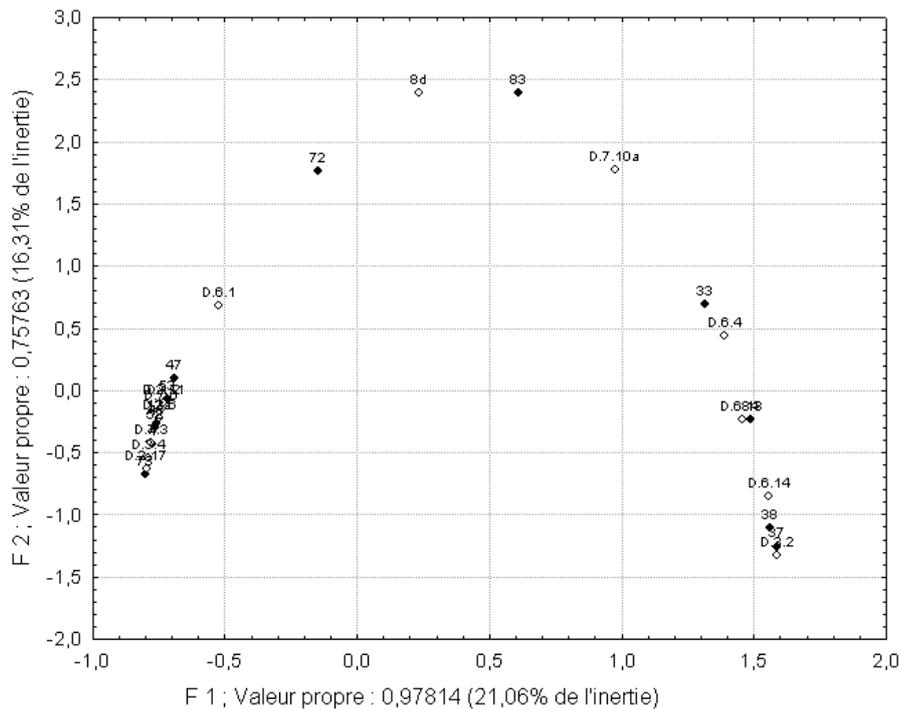


dans la monographie du site (Metzler et al. 1999). Un nouveau tableau a permis de retenir 35 tombes et 38 types de céramiques et de fibules suite à une vérification et suppression itérative des variables et des sépultures; 43 variables ont été supprimées ainsi que sept tombes.

En général, les résultats d'analyses des correspondances sont présentés sous forme d'un graphique en deux dimensions, souvent les deux premiers axes de l'analyse. Cette présentation offre le grand avantage de permettre l'affichage simultané des unités et des variables (Djindjian 1985). Quand la sériation est réussie, cela se traduit par l'apparition de la forme caractéristique d'une parabole (également appelée «fer à cheval», «arc» ou «effet Gutmann») (Baxter 1994). Normalement, les individus situés à l'une ou l'autre extrémité de la parabole n'auront rien en commun et seront approximativement une fonction quadratique de la première, le troisième axe approximativement cubique, et ainsi de suite (Baxter 1994).

Des anomalies dans la forme parabolique indiquent soit des imperfections dans la sériation, soit l'intervention de facteurs autres que chronologiques (Baxter 2003). Selon Djindjian (1991), ces points aberrants, souvent situés à l'intérieur, à l'extérieur ou aux extrémités de la parabole, sont faciles à détecter et à corriger. Il propose alors d'améliorer la sériation en modifiant les variables (rajout ou suppression de variables, affinement d'une variable ou plusieurs variables, regroupement typologique) ou en modifiant les individus (rajout ou suppression d'individus, traitement d'un sous-ensemble homogène, etc.). Il est d'avis que l'analyse de correspondances aide l'archéologue dans le choix ou la définition des variables sensibles à la variation temporelle et dans l'élimination ou la correction de points qui ne contribuent pas à la sériation (Djindjian 1985). Baxter (1994) craint un raisonnement circulaire, du fait que les variables ne sont utilisées que si elles permettent la mise en évidence d'un ordre chronologique conforme aux hypothèses du chercheur. Il est bien sûr évident que l'omission ou l'inclusion de variables doit être justifiée par des arguments de nature archéologique et pas simplement sur base d'une esthétique géométrique.

Des «trous» dans la séquence ou l'abondance d'individus contemporains, créant des structures de partitions, constituent un autre problème. Par exemple, à une des premières étapes dans notre analyse sur la nécropole de Lamadelaine, les sépultures laténiennes étaient opposées aux sépultures gallo-romaines et ceci sur le premier axe factoriel F1. En effet, il n'existait plus de lien chronologique entre les deux groupes



**Fig. 10** Sériation des tombes gallo-romaines de la nécropole de Lamadelaine selon l'analyse des correspondances. – ◆ unités (tombes); ◇ variables (types).

et il manquait des tombes de «transition». La solution consistait alors à analyser la sériation des sépultures laténiennes et des sépultures gallo-romaines séparément.

Finalement, pour l'époque laténienne (fig. 9), plusieurs variables (la fibule 9g à coquille au pied large et aplati, la fibule 8b et la bouteille A.3.3.) ont été exclues de l'analyse ainsi que quelques unités (8, 23, 27, 32 et 49). Il s'agit, par exemple, »d'antiquités«, comme la fibule 9g dans la tombe 33. Néanmoins, à la fin elles ont été réintégrées comme points supplémentaires sans qu'elles influencent l'analyse. Le graphique peut être considéré satisfaisant car l'extrémité gauche du fer à cheval correspond à des tombes anciennes et l'extrémité droite à des tombes plus récentes, même si les inerties des deux premiers composants (18,78% et de 14,64%) ne sont pas très élevées.

La sériation des sépultures gallo-romaines (fig. 10) a posé moins de problèmes. La typologie du mobilier (céramiques et fibules) pour cette période est plus précise et plus fine et donc mieux adaptée à une sériation.

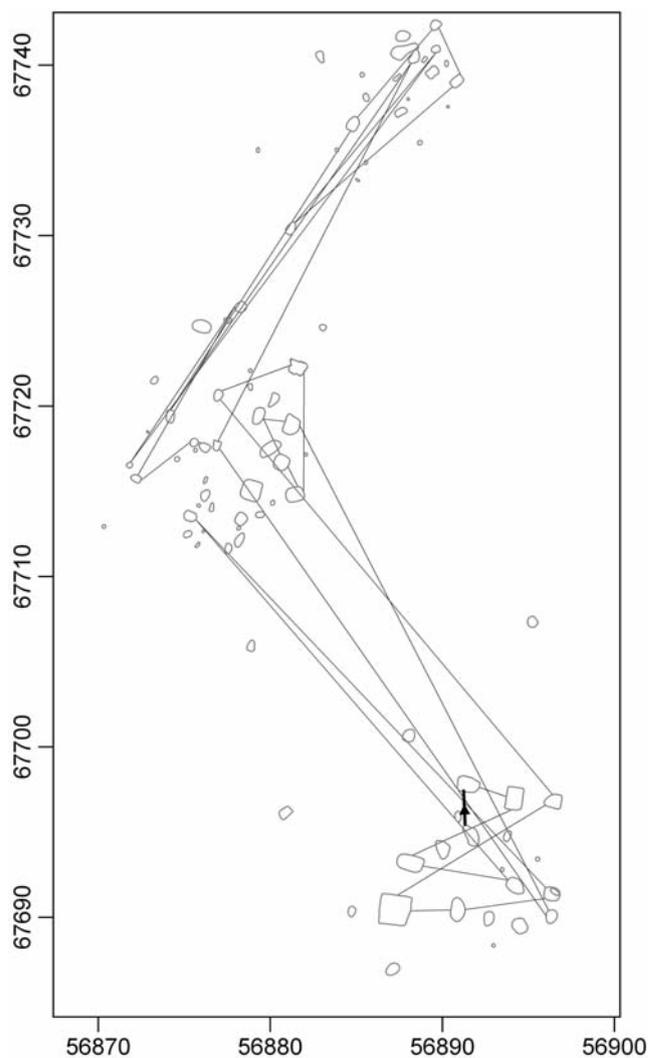
### La dynamique spatio-temporelle

Il existe plusieurs méthodes pour cartographier la chronologie d'une nécropole, comme la topochronologie mentionnée plus haut. Djindjian (1985) a développé la »toposériation« ou »l'analyse spatiale sous contrainte chronologique«. Du fait que la chronologie d'un site archéologique est liée à l'organisation spatiale des structures, il cherchait une méthode qui permettait de traiter simultanément l'information issue de la sériation et de la répartition topographique des types d'objets. Sans vouloir porter atteinte à la méthode de la toposériation, elle ne résiste pas à l'éternelle propension de vouloir tout ranger en plusieurs groupes bien distincts.

Nous proposons une méthode simple pour visualiser la sériation, permettant de refléter la »dynamique chronologique«. Pour ce faire, nous avons eu recours aux cartes de flux, qui permettent de visualiser cette dynamique chronologique à l'aide de flèches entre les tombes. L'utilisation de telles cartes n'est pas nouvelle dans le domaine de l'archéologie. Ces cartes se sont révélées très utiles, par exemple, dans le cadre de la modélisation des réseaux d'habitats (Nuninger 2002). L'évolution spatio-temporelle se présente sous forme d'un réseau de lignes reliant les tombes les plus proches chronologiquement. Mieux que la spatiali-

sation des datations des sépultures, cette méthode permet la visualisation cartographique d'une vraie dynamique dans l'évolution spatio-temporelle d'une nécropole.

Pour la nécropole de Lamadelaine (**fig. 11**), le noyau des premières tombes de Lt D1b est bien attesté. Suivent ensuite les sépultures périphériques à ce noyau, notamment à l'est et au sud, ainsi que l'installation des premières tombes dans la partie orientale du deuxième groupe. Dans un troisième temps, le troisième groupe spatial est formé dans la partie septentrionale de la nécropole, mais ceci en interaction avec la partie occidentale du deuxième groupe spatial. Enfin, les dernières tombes, datées de l'époque gallo-romaine GR2, soit entre 15 BC et 20 AD s'installent dans le deuxième groupe spatial entre les sépultures laténiennes et celles de la période GR1, entre 15 et 30 BC. Nous retrouvons ici alors le même phénomène que celui qui est constaté sur la carte des directions préférentielles avec un lien (de quelle nature, chronologique?) entre le premier groupe et la moitié orientale du deuxième groupe. De plus, cette analyse permet de confirmer la division du deuxième groupe, identifiée par l'analyse de la densité de probabilité par la méthode du noyau pour un rayon de 2,5 m, et de clairement identifier un lien entre le troisième groupe et la moitié occidentale du deuxième groupe, ce qui ne ressortait pas clairement de l'analyse directionnelle.



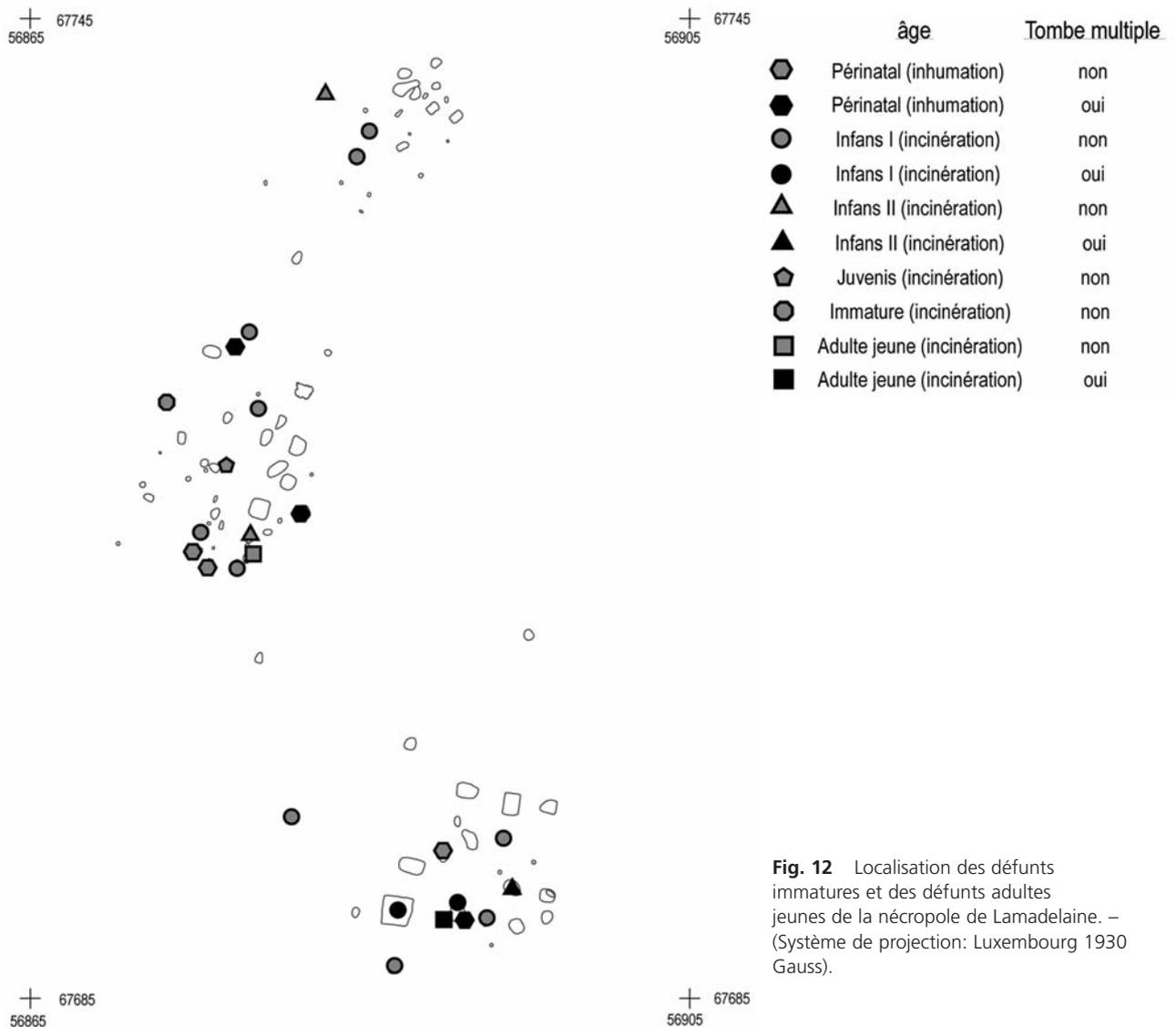
**Fig. 11** Spatialisation de la sériation de la nécropole de Lamadelaine d'après l'analyse des correspondances.

## LES DONNÉES ANTHROPOBIOLOGIQUES

Avant de procéder à l'analyse quantitative, nous proposons de cartographier les données anthropobiologiques disponibles. Ces cartes constitueront ensuite une aide à la mise en place de l'analyse quantitative et surtout à l'interprétation finale. En effet, l'analyse des cartes de distributions des critères anthropologiques (sexe et âge) peut apporter des renseignements concernant l'organisation sociale de la nécropole (Desenne 1997).

Les ossements humains de la nécropole de Lamadelaine ont été analysés par Villemeur (1999). L'âge au décès des individus a pu être estimé pour les inhumations et les incinérations; la détermination du sexe n'a pas été possible.

La nécropole regroupe un minimum de 82 sujets, dont 52 adultes, 25 immatures et 5 dont l'âge n'a pas pu être estimé. Nous nous intéressons ici particulièrement à la répartition spatiale des sujets immatures, afin d'observer s'ils présentent une répartition particulière dans le site (**fig. 12**). Parmi les tombes de Lt D1, nous retrouvons deux sépultures individuelles d'enfants, dont l'inhumation d'un sujet mort en période périnatale



**Fig. 12** Localisation des défunts immatures et des défunts adultes jeunes de la nécropole de Lamadelaine. – (Système de projection: Luxembourg 1930 Gauss).

(tombe 16) et un sujet de la classe d'âge d'Infans I (tombe 67), et une tombe multiple, contenant un sujet de la classe d'âge d'Infans II (tombe 25). A Lt D2, nous retrouvons des sépultures multiples, des tombes contenant les restes de plusieurs défunts, dans le groupe méridional (à la périphérie) et dans le groupe central. Au sud de ce dernier, dans une espace quasi-circulaire, six sépultures individuelles contenant les restes de sujets immatures et d'un adulte jeune sont regroupées. La tombe du Juvenis (tombe 39), se situant un peu à l'écart, est une sépulture à armes. Les sujets morts en période périnatale sont toujours des sujets inhumés. Pour les périodes GR1 et GR2, nous retrouvons que des tombes individuelles d'Infans I. Il s'agit de sépultures individuelles dont deux se trouvent dans le deuxième groupe et deux autres dans la partie méridionale du troisième groupe. A l'écart du troisième groupe, une tombe individuelle d'un Infans II est datée de l'époque claudienne.

## ANALYSE QUANTITATIVE DU MOBILIER

Afin d'essayer de révéler l'organisation socio-économique de la nécropole, nous avons effectué une analyse quantitative du mobilier. Nous avons opté pour une analyse en composantes principales à partir de cartes

de densité de chaque variable. Une analyse de densité de probabilité sur une nécropole a été publiée par Barceló (2002). Il part de l'idée qu'une nécropole est »une conséquence spatiale d'une action ritualisée«. Une carte de densité de probabilité représente alors »la probabilité qu'une certaine action ritualisée a été accomplie à certains endroits spécifiques«. Nous proposons d'ajouter une analyse en composantes principales, permettant de résumer l'information comprise dans de multiples cartes de densité de probabilité et de mieux caractériser les différentes tombes ou groupes de tombes.

Dans un premier temps, nous avons sélectionné les 52 sépultures les mieux conservées. Ensuite, afin de permettre les comparaisons et d'éliminer l'éventuelle surreprésentation de mobilier dans les tombes multiples, nous avons travaillé par défunt. Ainsi, notre échantillon passe de 52 à 57 individus. Cependant, les quatre inhumations restantes des sujets morts en période périnatale ont également été exclues de cette sélection, du fait de leur nature très particulière. Notre échantillon final est alors composé de 53 défunts répartis dans 50 tombes.

Ensuite, nous avons défini les variables quantitatives selon quelques catégories et sous-catégories bien définies. Un critère supplémentaire a été ajouté: l'occurrence de l'objet dans au minimum cinq tombes différentes. Ceci a permis de réduire le nombre de variables et de ne garder que les plus significatives pour une analyse à l'échelle de la nécropole. Ainsi, nous avons retenu les armes et la parure pour l'équipement du défunt et les fibules pour l'habillement du défunt ainsi que les variables suivantes pour les dépôts: dépôts divers (couteau, serrurerie, toilette), service (assiette, bassin, bol, bouteille, calice, coupe, gobelet, vase globuleux, pot, plat) et viande (chien, coq, porc).

Pour chacune de ces variables nous avons calculé leur densité de probabilité par la méthode du noyau. Cependant, il faut tenir compte du fait que ces cartes peuvent refléter la densité de probabilité des sépultures, plutôt que la chronologie ou des aspects socio-économiques (Šmejda 2004). Pour remédier partiellement à ce problème nous avons défini le rayon  $h$  de l'analyse de la densité de probabilité par la méthode du noyau à 2 m. Ce rayon est de l'ordre de la distance moyenne entre les centroïdes de deux tombes voisines et devrait ainsi limiter les intersections trop nombreuses. Les 20 cartes ainsi produites ont constitué les données d'entrée pour l'analyse en composantes principales.

Les variables les plus corrélées ( $r = 0,7$ ) sont les variables 1 (arme) et 18 (toilette), les variables 4 (bol) et 7 (chien), les variables 4 (bol) et 16 (pot), les variables 7 (chien) et 19 (vase globuleux) et enfin, les variables 8 (coq) et 15 (porc) (**tab. 1**). En effet, les outils de toilette se résument principalement à de petits couteaux, interprétés comme des rasoirs. Avec les armes, ces deux variables sont représentatives des tombes masculines. Les restes de chien semblent alors principalement associés à des récipients de type bols et vases globuleux. Le coq et le porc constituent des dépôts de viande, caractéristiques des tombes laténiennes, riches en dépôts alimentaires.

Avec 54% de l'inertie des nuages dans l'espace tout entier, le premier facteur F1 est largement prépondérant (**tab. 2**). L'inertie du deuxième facteur F2 vaut 13%, celle du troisième 9,5%, etc. Ensemble, les cinq premiers facteurs F1-5 totalisent plus de 85% de l'inertie totale. Dans la suite de l'interprétation, nous nous limiterons donc aux cinq premiers facteurs, car le reste ne semble pas donner d'informations significatives.

Les coordonnées des 20 variables sur le premier facteur (F1) sont positives, avec des valeurs particulièrement élevées pour l'habillement (fibules) et les quartiers de porcs, puis dans une moindre mesure pour les bols et les pots (**tab. 1; fig. 13**). Ce type de facteur, appelé »effet taille«, montre que certains individus ont une grande influence sur ces variables et d'autres, au contraire, des contributions plus modestes (Escoufier / Pagès 1998). Ceci signifie que certaines tombes contiennent beaucoup de mobilier et d'autres moins; ce premier facteur exprime alors la richesse en termes de quantité de mobilier et cette »richesse« est principalement constituée par ces quatre variables (fibules, quartiers de porcs, bols et pots).

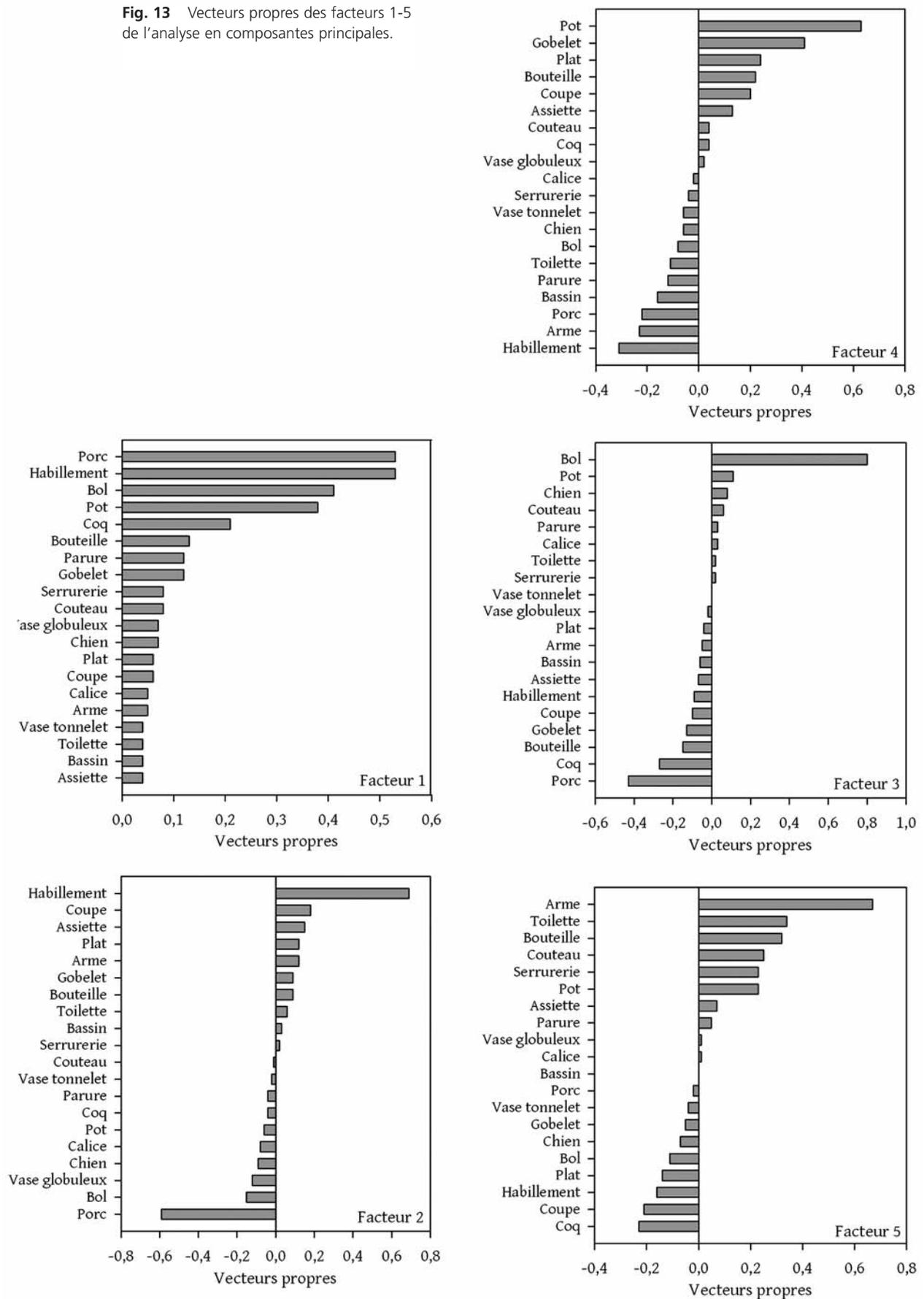
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,0																			
2	0,2	1,0																		
3	0,3	0,0	1,0																	
4	0,1	0,0	0,1	1,0																
5	0,2	0,5	0,0	0,2	1,0															
6	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	1,0														
7	0,0	0,0	0,0	<b>0,7</b>	0,2	0,0	1,0													
8	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,4	1,0												
9	0,0	0,5	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	1,0											
10	0,3	0,1	0,1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	1,0										
11	0,1	0,4	0,1	0,2	0,4	0,0	0,2	0,5	0,5	0,2	1,0									
12	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	1,0								
13	0,2	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	0,0	0,5	0,1	0,4	1,0							
14	0,0	0,4	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,4	0,6	0,2	<b>0,6</b>	0,5	0,1	1,0						
15	0,1	0,0	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	<b>0,7</b>	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	1,0					
16	0,1	0,2	0,1	<b>0,7</b>	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	<b>0,6</b>	0,5	<b>0,6</b>	0,5	0,4	<b>0,6</b>	1,0				
17	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	0,1	0,4	0,4	1,0			
18	<b>0,7</b>	0,1	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,1	0,3	0,3	0,0	0,1	0,2	0,3	1,0		
19	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	<b>0,7</b>	0,5	0,0	0,3	0,2	0,2	<b>0,6</b>	0,0	<b>0,6</b>	0,5	0,1	0,1	1,0	
20	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,2	1,0

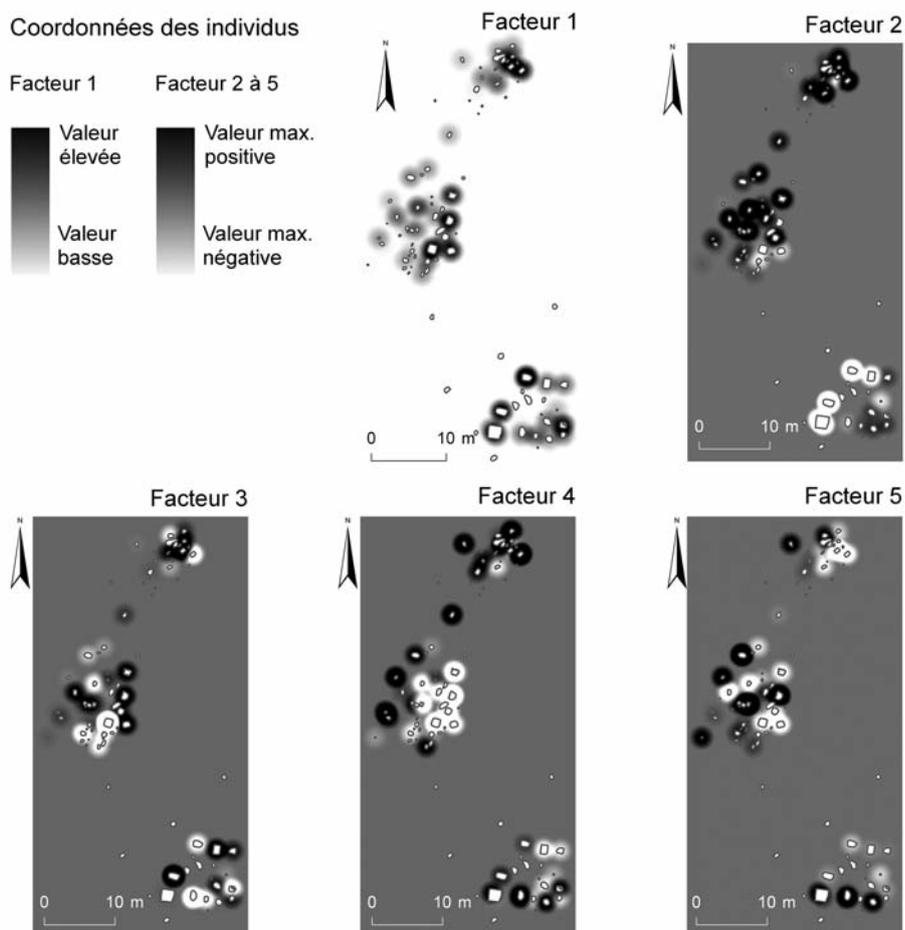
Tab. 1 Tableau de corrélation des 20 variables sélectionnées de la nécropole de Lamadelaine.

facteurs:	F1	F2	F3	F4	F5
valeurs propres:	0,05571	0,01368	0,00976	0,00521	0,00341
%	54,39898	13,35807	9,530319	5,087394	3,329753
% cumulé	54,39898	67,75705	77,28737	82,37477	85,70452
vecteurs propres:					
1 arme	0,05	0,12	-0,05	-0,23	<b>0,67</b>
2 assiette	0,04	0,15	-0,07	0,13	0,07
3 bassin	0,04	0,03	-0,06	-0,16	0,00
4 bol	0,41	-0,15	<b>0,80</b>	-0,08	-0,11
5 bouteille	0,13	0,09	-0,15	0,22	0,32
6 calice	0,05	-0,08	0,03	-0,02	0,01
7 chien	0,07	-0,09	0,08	-0,06	-0,07
8 coq	0,21	-0,04	-0,27	0,04	-0,23
9 coupe	0,06	0,18	-0,10	0,20	-0,21
10 couteau	0,08	-0,01	0,06	0,04	0,25
11 gobelet	0,12	0,09	-0,13	0,41	-0,05
12 habillement	<b>0,53</b>	<b>0,69</b>	-0,09	-0,31	-0,16
13 parure	0,12	-0,04	0,03	-0,12	0,05
14 plat	0,06	0,12	-0,04	0,24	-0,14
15 porc	<b>0,53</b>	<b>-0,59</b>	-0,43	-0,22	-0,02
16 pôt	0,38	-0,06	0,11	<b>0,63</b>	0,23
17 serrurerie	0,08	0,02	0,02	-0,04	0,23
18 toilette	0,04	0,06	0,02	-0,11	0,34
19 vase globuleux	0,07	-0,12	-0,02	0,02	0,01
20 vase tonnelet	0,04	-0,02	0,00	-0,06	-0,04

Tab. 2 Valeurs propres et vecteurs propres de l'analyse en composantes principales sur les 20 variables de la nécropole de Lamadelaine.

**Fig. 13** Vecteurs propres des facteurs 1-5 de l'analyse en composantes principales.





**Fig. 14** Cartographie des coordonnées des individus sur les facteurs 1-5 de l'analyse en composantes principales.

La cartographie des données sur ce premier facteur (fig. 14), révèle des tombes «riches» dans les trois groupes spatiaux. Dans le premier groupe, il s'agit essentiellement des quatre sépultures les plus occidentales; dans le deuxième groupe, les tombes laténiennes dans la moitié orientale se caractérisent par un mobilier abondant, en excluant les sépultures d'enfants au sud; dans le troisième groupe, il est question d'un ensemble de quelques tombes, réparties dans la partie orientale. Cette cartographie de la «richesse» des sépultures reflète principalement la chronologie et pas spécialement le degré de cohésion sociale et l'organisation hiérarchique de la communauté. Les tombes laténiennes sont en effet connues pour leur mobilier abondant, comme en témoignent également d'autres nécropoles, telles que Feulen (Ct. Diekirch/L; Schendzielorz 2006) et Hoppstädten-Weiersbach (Lkr. Birkenfeld/D; Gleser 2005).

Sur le deuxième axe factoriel (F2), les deux variables, fibules et quartiers de porcs, responsables de la «richesse», sont opposées (tab. 2; fig. 13). Cette opposition montre que la «richesse» de certaines tombes repose sur les fibules et que la «richesse» d'autres sépultures est plutôt constituée par des quartiers de porcs. Sur le plan cartographique (fig. 14), nous pouvons observer que ce dernier groupe de tombes, riches en quartiers de porcs, se concentre principalement dans le premier groupe spatial avec quelques sépultures dans la partie sud-est du deuxième groupe.

Le troisième facteur (F3) est principalement marqué par les bols (tab. 2; fig. 13) auxquels s'opposent les quartiers de viande de porcs et le coq. La carte (fig. 14) est plus diversifiée et semble moins influencée par la chronologie. Une grande partie des «tombes à bols» semble correspondre aux sépultures d'enfants, principalement dans les parties centrale et sud du premier groupe et dans les parties méridionale et nord-ouest du groupe central.

Sur le quatrième facteur (F4) les variables, pots associés à d'autres récipients en céramique, qui s'opposent dans une certaine mesure aux éléments de l'équipement du défunt, tels que les fibules et les armes (tab. 2; fig. 13). Sur la carte (fig. 14), les tombes de la phase GR1 sont accentuées par des valeurs positives (céramique) et les sépultures laténiennes de la partie orientale du deuxième groupe par une association de fibules, d'armes, etc. et se distinguent ainsi bien du premier groupe spatial au sud.

Enfin, le cinquième facteur (F5) retenu est principalement corrélé aux armes, associées, aux ustensiles de toilettes, mais également aux couteaux et éléments de serrurerie (tab. 2; fig. 13). Certaines tombes « masculines » sont identifiées par des valeurs positives. Néanmoins, ce ne sont pas que des tombes à armes, mais également des sépultures qui s'y rapprochent par une association en types et quantités d'objets. Il est également intéressant de noter que la plupart des couteaux ne sont pas associés aux quartiers de viande et qu'une détermination fonctionnelle plus fine de ces objets pourrait être significative, telle que l'approche proposée pour la nécropole orientale du Titelberg (Kaurin 2008).

## SYNTHÈSE ET CONCLUSION

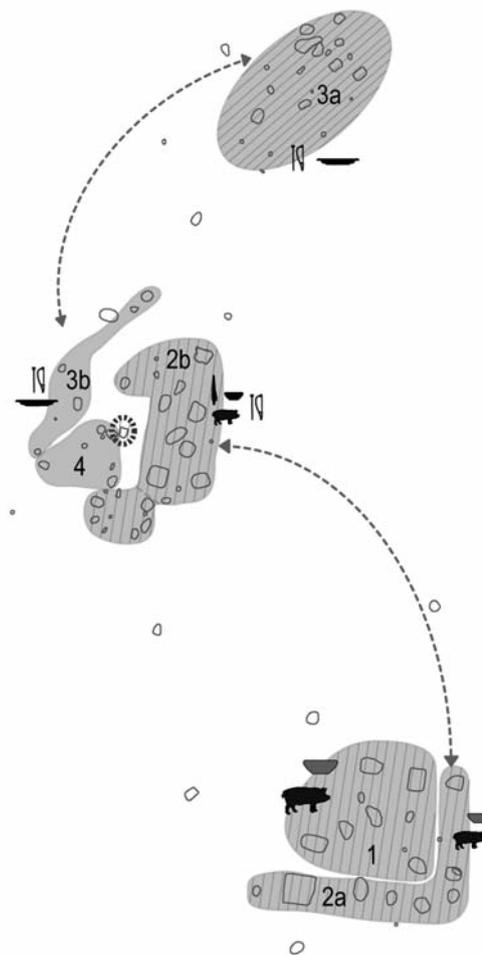
Les différentes analyses spatiales sur l'immobilier et sur le mobilier, chronologiques et quantitatives, ont tout d'abord permis de détailler l'organisation spatio-temporelle de la nécropole de Lamadelaine et de proposer un nouveau schéma d'interprétation du site (fig. 15).

L'existence des trois groupes spatiaux définis par J. Metzler devrait être reconsidérée:

- Le noyau des tombes de Lt D1 est bien délimité et caractérisé (fig. 15, 1). Il s'agit de sépultures d'assez grandes dimensions, montrant une direction préférentielle de 81,5° et caractérisées par un mobilier abondant, principalement composé de quartiers de porcs, éventuellement accompagnés de plusieurs bols en céramique.
- Pendant Lt D2, il semble y avoir une interaction entre les concentrations méridionale et centrale, plus particulièrement entre les sépultures de la périphérie du noyau de Lt D1 (fig. 15, 2a) et celles des parties orientale et méridionale du groupe central (fig. 15, 2b). Les tombes de la périphérie du premier groupe se caractérisent par un mobilier moins abondant que le noyau de cette concentration mais elles montrent également une direction préférentielle de 81,5°. La sépulture 17, par contre, contient de grandes quantités de céramiques et de quartiers de porcs et se rattache ainsi plutôt aux tombes de Lt D1. Dans le groupe 2b, où les sépultures présentent également une direction préférentielle de 81,5°, la tombe 11 se

+ 67745  
56865

67745 +  
56905



+ 67685  
56865

67685 +  
56905

**Fig. 15** Schéma d'interprétation générale de la nécropole de Lamadelaine: **1** Lt D1. – **2a-b** Lt D2. – **3a-b** GR1. – **4** GR2. – (Système de projection: Luxembourg 1930 Gauss).

rapproche par son contenu des sépultures du groupe méridional. Le même cas de figure peut être retenu pour les tombes 3 et 9 avec cette nuance que la part des fibules devient plus importante que les quartiers de porcs. Cette partie orientale du groupe central comprend également les sépultures à armes les plus caractéristiques. La tombe 39 se trouve un peu à l'ouest, à l'écart des grandes tombes de Lt D2. La partie méridionale du groupe semble correspondre à un espace réservé aux sépultures individuelles d'immatures.

– Les tombes gallo-romaines sont installées dans le groupe septentrional (**fig. 15, 3a**) où elles présentent un changement dans la direction préférentielle, notamment à 41,5°. D'autres sépultures de cette période se situent dans la partie occidentale du groupe central (**fig. 15, 3b**). Les tombes de la phase GR2 (**fig. 15, 4**) sont implantées entre ces dernières et les tombes laténiennes dans la partie orientale du deuxième groupe. Ces sépultures se caractérisent par un mobilier moins abondant, principalement composé de récipients en céramique et de fibules.

Enfin, l'étude spatiale des vestiges mobiliers a contribué à l'interprétation culturelle de la nécropole plutôt qu'à son interprétation sociale. En effet, les résultats reflètent les grandes tendances et changements dans l'évolution de la nécropole dans le cadre de la «romanisation». Il semble extrêmement difficile de faire ressortir des groupes sociaux ou familiaux. Le mobilier, caractérisant l'individu est peu abondant et d'une nature trop «unique» pour pouvoir être traité lors d'analyses qui concernent la totalité de la nécropole. Des approches à une plus grande échelle ou au niveau intra-tombe seraient sans doute mieux adaptées. Des analyses par phase ou période pourraient également constituer une solution pour certaines nécropoles, mais seulement si l'échantillon est suffisamment grand, ce qui n'était pas le cas pour la nécropole de Lamadelaine.

Finalement, nous voudrions encore porter l'attention sur l'importance de la représentation de la taille et de la forme réelles des tombes par des polygones. Ils permettent un plan plus précis et détaillé de la nécropole et peuvent également constituer une aide à l'identification de directions préférentielles du développement spatial des nécropoles.

## Remerciements

Cette recherche est menée dans le cadre d'un projet de recherche plus large, intitulé «De l'analyse spatiale à la caractérisation de sites de la fin de l'âge du Fer et du début de l'époque gallo-

romaine dans le nord et l'est de la Gaule». Nous tenons à remercier le Fonds Wetenschappelijk Onderzoek – Vlaanderen (FWO) pour le financement de ce projet (G.0657.07N).

## Note

1) Chronologie de la nécropole de Lamadelaine (GR: gallo-romain; Lt: La Tène): Lt D1b: –120 à –80; Lt D2a: –80 à –55; Lt D2b: –55 à –30; GR 1: –30 à –15; GR 2: –15 à 20.

## Bibliographie

Barceló 2002: J. A. Barceló, *Archaeological thinking: between space and time*. *Archeologia e Calcolatori* 13, 2002, 237-257.

Baxter 1994: M. Baxter, *Exploratory multivariate analysis in archaeology* (Edinburgh 1994).

2003: M. Baxter, *Statistics in archaeology* (London 2003).

Besag 1977: J. E. Besag, *Comments on Ripley's paper*. *Journal of the Royal Statistical Society B39*, 1977, 193-195.

Bølviken et al. 1982: E. Bølviken / E. Helskog / K. Helskog / I. M. Holm-Olsen / L. Solheim / R. Bertelsen, *Correspondence analysis: an alternative to principal components*. *World Archaeology* 14, 1982, 41-60.

Brainerd 1951: G. W. Brainerd, *The place of chronological ordering in archaeological analysis*. *American Antiquity* 16, 1951, 301-313.

- Conolly / Lake 2006: J. Conolly / M. Lake, Geographical information systems in archaeology (Cambridge 2006).
- Cowgill 1968: G. L. Cowgill, Archaeological applications of factor, cluster and proximity analysis. *American Antiquity* 33, 1968, 367-375.
- 1972: G. L. Cowgill, Models, methods and techniques for seriation. In: D. L. Clarke (éd.), *Models in archaeology* (London 1972) 381-424.
- Demoule 1982: J.-P. Demoule, L'analyse archéologique des cimetières et l'exemple des nécropoles celtiques. In: G. Gnoli / J.-P. Vernant (éd.), *La mort, les morts dans les sociétés anciennes* (Cambridge 1982) 319-327.
- Desenne 1997: S. Desenne, Apport des méthodes qualitatives et quantitatives à l'analyse spatiale. In: A. Bocquet (éd.), *Espaces physiques espaces sociaux dans l'analyse interne des sites du Néolithique à l'Âge de Fer*. Actes du 119<sup>e</sup> Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques, Amiens, 26-30 Octobre 1994 (Paris 1997) 369-379.
- Deweirdt 2010: E. Deweirdt, De l'analyse spatiale à la caractérisation de sites de la fin de l'âge du Fer et du début de l'époque gallo-romaine dans le nord et l'est de la Gaule [thèse de doctorat inéd. Ghent University/Université de Bourgogne 2010].
- Djindjian 1977: F. Djindjian, Étude quantitative des séries aurignaciennes de La Ferrassie par l'analyse des données. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 74, 1977, 357-361.
- 1985: F. Djindjian, Seriation and toposeriation by correspondence analysis. In: A. Voorrips / S. H. Loving (éd.), *To pattern the past*. Symposium organized by the Commission IV of the UISPP at the Univ. of Amsterdam, Amsterdam, May 1984 (Strasbourg 1985) 119-136.
- 1991: F. Djindjian, *Méthodes pour l'archéologie* (Paris 1991).
- Escofier / Pagès 1998: B. Escofier / J. Pagès, *Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation* (Paris 1998).
- Gleser 2005: R. Gleser, Studien zu sozialen Strukturen der historischen Kelten in Mitteleuropa aufgrund der Gräberanalyse. Die keltisch-römische Nekropole von Hopstädten-Weiersbach im Kontext latènezeitlicher Fundgruppen und römischer Okkupation. *Saarbrücker Beiträge zur Altertumskunde* 81 (Bonn 2005).
- Hill 1974: M. O. Hill, Correspondence analysis: a neglected multivariate technique. *Applied Statistics* 23, 1974, 340-354.
- Kaurin 2008: J. Kaurin, Approche fonctionnelle des couteaux de la fin de l'âge du Fer – l'exemple de la nécropole orientale de l'oppidum du Titelberg (G.-D. de Luxembourg). *Archäologisches Korrespondenzblatt* 38, 2008, 521-536.
- Kendall 1963: D. G. Kendall, A statistical approach to Flinders Petrie's sequence dating. *Bulletin of the International Statistical Institute* 40, 1963, 657-680.
- LeBlanc 1975: S. A. LeBlanc, Micro-seriation: a method for fine chronologic differentiation. *American Antiquity* 40, 1975, 22-38.
- Le Guen / Pinard 2007: P. Le Guen / E. Pinard, La nécropole à incinération de Presles-et-Boves, «Les Bois Plantés» (Aisne): approche des pratiques funéraires du Bronze final dans la vallée de l'Aisne. In: L. Baray / P. Brun / A. Testart (éd.), *Pratiques funéraires et sociétés. Nouvelles approches en archéologie et en anthropologie sociale*. Actes du colloque interdisciplinaire de Sens, 12-14 juin 2003 (Dijon 2007) 101-114.
- Lock 2003: G. Lock, *Using computers in archaeology. Towards virtual pasts* (London 2003).
- Markofsky / Bevan 2012: S. Markofsky / A. Bevan, Directional analysis of surface artefact distributions: a case study from the Murghab Delta, Turkmenistan. *Journal of Archaeological Science* 39/2, 2012, 428-439.
- Marquardt 1978: W. M. Marquardt, Advances in archaeological seriation 1. In: M. B. Schiffer (éd.), *Advances in archaeological method and theory* (New York 1978) 257-314.
- Metzler et al. 1999: J. Metzler / N. Metzler-Zens / P. Méniel / R. Bis / C. Gaeng / I. Villemeur, Lamadelaine. Une nécropole de l'oppidum du Titelberg. Dossier d'archéologie du Musée National d'Histoire et d'Art 6 (Luxembourg 1999).
- Nuninger 2002: L. Nuninger, Peuplement et territoires protohistoriques du VIII<sup>e</sup> au I<sup>er</sup> s. av. J.-C. en Languedoc oriental (Gard-Hérault) [thèse de doctorat inéd. Université de Franche-Comté, Besançon 2002].
- Pearson 2005: M. P. Pearson, *The archaeology of death and burial* (Gloucestershire 2005).
- Perry / Miller / Enright 2006: G. L. W. Perry / B. P. Miller / N. J. Enright, A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology. *Plant Ecology* 187, 2006, 59-82.
- Petrie 1899: W. M. F. Petrie, Sequences in prehistoric remains. *Journal of the Anthropological Institute* 29, 1899, 295-301.
- Régnier 1977: S. Régnier, Sériation des niveaux de plusieurs tranches de fouilles dans une zone archéologique homogène. In: M. Borillo / W. F. De La Vega / A. Guenoche (éd.), *Raisonnement et méthodes mathématiques en archéologie*. Séminaire du laboratoire d'informatique pour les sciences de l'homme 1 (Paris 1977) 146-155.
- Robinson 1951: W. R. Robinson, A method for chronologically ordering archaeological deposits. *American Antiquity* 16, 1951, 293-301.
- Rosenberg 2004: M. S. Rosenberg, Wavelet analysis for detecting anisotropy in point patterns. *Journal of Vegetation Science* 15, 2004, 277-284.
- Schendzielorz 2006: S. Schendzielorz, Feulen: ein spätlatènezeitlich-frühhömisches Gräberfeld in Luxemburg. *Dossiers d'archéologie du Musée National d'Histoire et d'Art* 9 (Luxembourg 2006).
- Silverman 1986: B. W. Silverman, *Density estimation for statistics and data analysis* (London 1986).
- Šmejda 2004: L. Šmejda, Potential of GIS for analysis of funerary areas: prehistoric cemetery at Holešov, distr. Kroměříž, Czech Republic. In: L. Šmejda / J. Turek (éd.), *Spatial analysis of funerary areas* (Plzeň 2004) 57-68.
- Villemeur 1999: I. Villemeur, L'homme. In: Metzler et al. 1999, 247-257.
- Wiegand / Moloney 2004: T. Wiegand / K. A. Moloney, Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* 104, 2004, 209-229.
- Zaninetti 2005: J.-M. Zaninetti, *Statistique spatiale. Méthodes et applications géomatiques* (Paris 2005).

## Zusammenfassung / Abstract / Résumé

### Zur räumlichen Analyse von Gräberfeldern – ein neuer Ansatz. Das Beispiel der späteisenzeitlichen und frühromischen Nekropole von Lamadelaine (Großherzogtum Luxemburg)

Gräberfelder zeigen selten zufällig angelegte und verteilte Grabstrukturen. Die Gräber selbst entstehen normalerweise in einem spontanen Prozess; in ihnen werden meist vollständig erhaltene Grabbeigaben absichtlich deponiert. Aus diesem Grund eignet sich diese Gattung archäologischer Befunde gut für eine quantitative und räumliche Analyse, die erlaubt, Informationen über die räumliche Organisation, den zeitlichen Ablauf und über sozio-ökonomische Aspekte des Friedhofes zu erhalten. Dieser Artikel bewertet die wichtigsten Methoden der räumlichen Analyse eines Fundplatzes, angepasst an Gräberfelder, auf Basis der vorgeschichtlichen und römischen Nekropole von Lamadelaine; weiterhin liefert er neue Vorschläge zur räumlichen Anlage dieses Gräberfeldes des Oppidums Titelberg.

### The spatial analysis of cemeteries revisited. The example of the Late Iron Age and Early Gallo-Roman cemetery of Lamadelaine (Grand Duchy of Luxembourg)

Cemeteries are rarely characterised by arbitrary implantations and distributions of the funerary features. The burials themselves are, in general, distinguished by instant-formation and often undamaged artefacts, deposited intentionally. As a consequence, this type of archaeological site is most suitable for quantitative and spatial analyses allowing for more information on the spatial organisation, the chronology and the social-economic aspects of the cemetery. This paper evaluates the principal methods of intra-site spatial analysis adapted to cemeteries on the basis of the data of the protohistoric and Gallo-Roman cemetery of Lamadelaine and proposes a new interpretation on the spatial organisation of this cemetery of the oppidum of the Titelberg.

### L'analyse spatiale des nécropoles révisitée. L'exemple de la nécropole de l'âge du Fer final et du début de l'époque gallo-romaine de Lamadelaine (Grand-Duché de Luxembourg)

Les nécropoles sont rarement caractérisées par des implantations et des distributions aléatoires des structures funéraires. Les fosses sépulcrales mêmes sont en général caractérisées par une formation instantanée et un mobilier, souvent entier, y déposé intentionnellement. En conséquence, ce type de site archéologique se prête bien à des analyses quantitatives et spatiales permettant de révéler de l'information sur l'organisation spatiale, la chronologie et les aspects socio-économiques de la nécropole. Cet article évalue les principales méthodes d'analyse spatiale intra-site adaptées aux nécropoles à l'aide des données de la nécropole protohistorique et gallo-romaine de Lamadelaine et propose une nouvelle interprétation concernant l'organisation spatiale de cette nécropole de l'oppidum du Titelberg.

## Schlüsselwörter / Keywords / Mots clés

Luxemburg / Spätlatènezeit / Seriation / Raumanalyse / quantitative Methoden  
Luxembourg / Late La Tène period / seriation / spatial analysis / quantitative analysis  
Luxembourg / La Tène finale / sériation / analyse spatiale / analyse quantitative

### Jean Bourgeois

**Eline Deweydt**  
Universiteit Gent  
Vakgroep Archeologie  
Sint-Pietersnieuwstraat 35  
B - 9000 Gent  
jean.bourgeois@ugent.be  
eline.deweydt@ugent.be

### Christophe Petit

UMR 7041 ArScAn »Archéologies  
et Sciences de l'Antiquité«  
Équipe Archéologies environnementales  
Maison René-Ginouves  
21, allée de l'Université  
F - 92023 Nanterre cedex  
christophe.petit@univ-paris1.fr

### Jeannot Metzler

Musée national d'histoire et d'art  
Marché-aux-Poissons  
L - 2345 Luxembourg  
jeannot.metzler@cnra.etat.lu

### Philippe De Maeyer

Universiteit Gent  
Vakgroep Geografie  
Krijgslaan 288  
B - 9000 Gent  
philippe.demaeyer@ugent.be

### Patrice Méniel

UMR 6298 ARTeHiS »Archéologie,  
Terre, Histoire, Société«  
Université de Bourgogne  
6, boulevard Gabriel  
F - 21000 Dijon  
menielpat@aol.com