

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)
 par Maxime FORRIEZ

« Le monde des géographes est avant tout un monde de formes... » résume André DAUPHINE (2003, p. 148). En effet, le projet scientifique de la géographie (MARTIN, 2004, p. 23) est d'expliquer les formes déployées de l'interface terrestre et sur celui-ci. L'idée clé de la géographie est de prétendre que la position dans l'espace n'est pas neutre, ce qui revient à étudier le rapport entre le continu et le discontinu. En cela, les modèles numériques de terrain (M.N.T.) sont très utiles au géographe. Ils permettent de s'interroger sur les structures spatiales, c'est-à-dire de comprendre leur organisation. En archéologie, l'utilisation des M.N.T. reste encore assez peu répandue. Seul un groupe d'archéologues du Sud-ouest a commencé une réflexion autour de cet outil, qui permet d'obtenir des renseignements très utiles.

Cet article vise à montrer que le croisement de la géographie spatiale et de l'archéologie peut fournir des résultats intéressants pour l'étude d'un site et de son environnement. L'approche sera avant tout spatiale. Toutefois, l'approche temporelle ne sera pas négligée mais sera largement secondaire par rapport à la méthode employée. En effet, nous travaillerons sur une cause formelle, au sens d'ARISTOTE. Aussi, il faut privilégier deux approches. Après avoir défini ce que sont les M.N.T., l'une sera descriptive et l'autre structurelle. Les deux sont bien évidemment complémentaires.

1. La technique des modèles numériques de terrain

Définition

Les M.N.T. sont nés dans les années 1950 dans le Laboratoire de photographie de l'Institut de Technologie du Massachusetts. Ils se sont propagés dans les différentes disciplines grâce à la puissance de calcul des ordinateurs, toujours plus importante. L'informaticien dirait que les M.N.T. sont des images véristes, au même titre que celles que l'on rencontre dans les jeux vidéo. A une différence près, ce sont des modèles que l'on peut trouver sur l'interface terrestre. Bref, ce sont des représentations, des simulations d'un relief existant.

L'acquisition des données

Tout commence par une méthode familière aussi bien à l'archéologue qu'au géographe : le relevé de terrain, si possible à l'aide d'un tachéomètre laser, qui permettra de transférer plus rapidement les données topographiques sur un ordinateur. Il existe de nombreuses autres méthodes d'acquisition de données (tableau 1).

Méthodes directes	
Altimètres	Les altimètres sont transportés par des plateformes aériennes
G.P.S. ¹	Système de localisation au moyen de satellites
Topographie	Système de localisation au moyen de stations topographiques avec la sortie numérique
Méthodes indirectes	
Restitution	origine numérique : images numériques captées par des satellites avec différents angles de vision
	origine analogique : pairs photographiques conventionnelles (couleur, infrarouge, ultraviolet)
Numérisation	manuel : au moyen d'une table numérique
	automatique : au moyen de scanners

Tableau 1. Exemples de méthodes qui permettent d'acquérir les données pour réaliser un M.N.T.
 (FELICISIMO, trad. Maxime FORRIEZ, 1994, p. 42)

¹ Global Positioning System

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

Le matériel

Il existe à l'heure actuelle une vingtaine de fournisseurs de logiciels et de données. Certains logiciels sont des freewares que l'on trouve sur le Web comme Visual Explorer ou Microdem 6.03. D'autres sont payants comme Surfer ou Vistapro. Chacun d'eux ont leurs qualités et leurs défauts. Visual Explorer peut être qualifié d'archaïque. Il demeure utile pour découvrir ou faire découvrir les M.N.T. Il reste un passage obligé pour convertir les données fournies par Vistapro. Microdem est un logiciel développé par l'armée américaine. Peu esthétique, il reste l'un des logiciels les plus puissants pour l'analyse des M.N.T. Il peut faire des coupes topographiques, calculer le gradient topographique, ainsi que la fréquence de l'orientation des pentes, la courbure, la rugosité, etc...

De nombreux problèmes techniques sont liés à ces logiciels. Le premier est celui du format des données. Les formats les plus courants sont notés *.dem pour Digital Elevation Model et *.dtm pour Digital Terrain Model. Toutefois, par exemple, le format Vistapro ne peut pas être lu sur Microdem bien que ses deux logiciels ont le même format (un *.dem). Le second problème est celui du pas. Les premiers M.N.T. avaient un pas de 250 mètres entre chaque courbe de niveau, l'I.G.N. vend un pas à 50 mètres ; les militaires ont un pas inférieur ou égal à un mètre, mais ces données font parties du fameux « secret défense ». En effet, comme le disait Paul VALERY, « la géographie, ça sert d'abord à faire la guerre », une des fins des M.N.T. était, au début, de remplacer la carte topographique à deux dimensions par une visualisation en trois dimensions afin de faciliter le choix stratégique d'une attaque. Après plusieurs années d'exploitation, il s'avère que M.N.T. et cartes soient complémentaires. Il faut ainsi rappeler que M.N.T. et S.I.G. (Système d'information géographique) ont émergé quasiment en même temps et qu'ils ont, de ce fait, conservé un lien important entre eux. Le troisième problème est lié à l'ordinateur lui-même, et surtout à sa puissance de calcul. En effet, la grille permettant de réaliser le M.N.T. contient une information très lourde à traiter : un point projeté possède trois coordonnées (l'abscisse, l'ordonnée et la hauteur dans le cas d'un relevé de terrain comme celui de Boves, ou la longitude, la latitude et la hauteur avec les données fournies par l'I.G.N).

Avant de poursuivre, il faut remarquer qu'une fois le M.N.T. créé, le relief devient un signal. Autrement dit, ce n'est plus l'objet tangible que l'on a relevé mais un objet numérique, virtuel (figure 1).

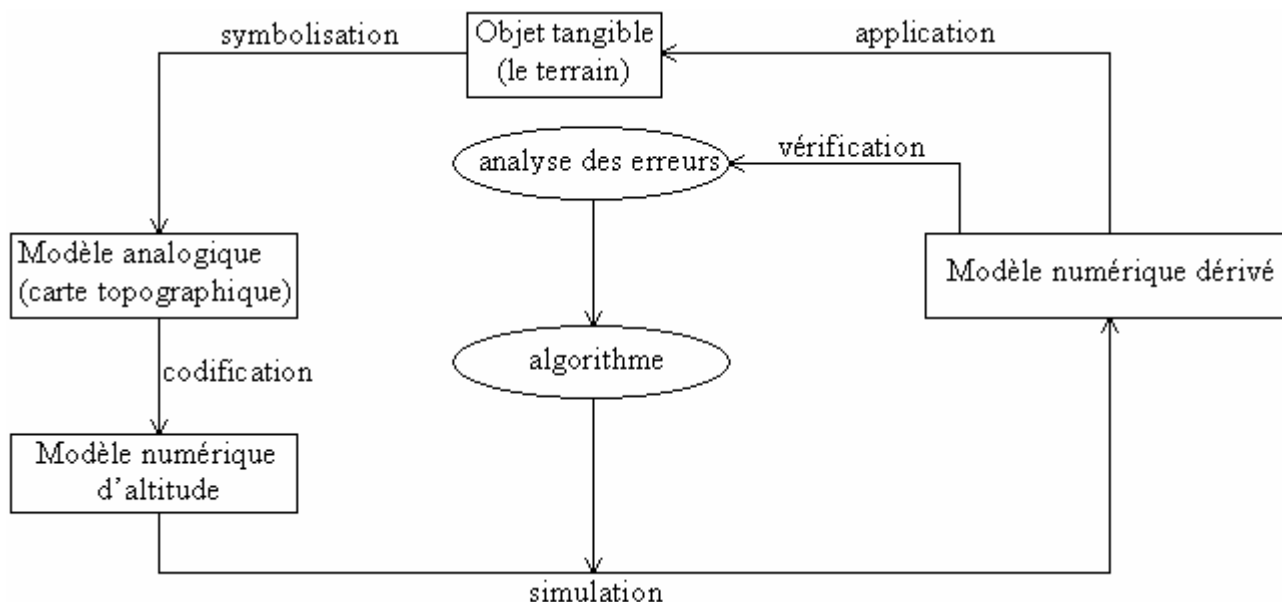


Figure 1. Processus basique impliqué dans la création, le maniement et l'exploitation des modèles numériques de terrain (FELICISIMO, trad. Maxime FORRIEZ, 1994, p. 19)

Le fait de préciser qu'un M.N.T. transforme le relief en signal n'est pas anodin. Cela signifie que le relief a un spectre et que ce dernier peut être analysé par les mêmes méthodes que celui d'un rayon de lumière. Ainsi, les M.N.T. sont des outils, des éléments de réflexions, des mines d'informations. Ils sont donc à la fois, une fin et un début de compréhension des modelés de l'interface terrestre (tableau 2).

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

Propriétés	Carte topographique	M.N.T.
Maniement	simple	complexe
Stabilité	basse	haute
Transport	facile	contraignant
Actualisation	complexe	simple
Traitement numérique	difficile	facile
Simulation	impossible	possible

Tableau 2. Comparaison entre la carte topographique et le M.N.T. (FELICISIMO, trad. Maxime FORRIEZ, 1994, p. 23)

Le traitement des données ou la fabrication du M.N.T.

A Boves, les données ont été réalisées par le géomètre Philippe BOUTTE. Il a relevé 3337 points sur l'ensemble du site (figure 2). Dès lors, comment transformer la matrice obtenue en une projection en trois dimensions du relief ?

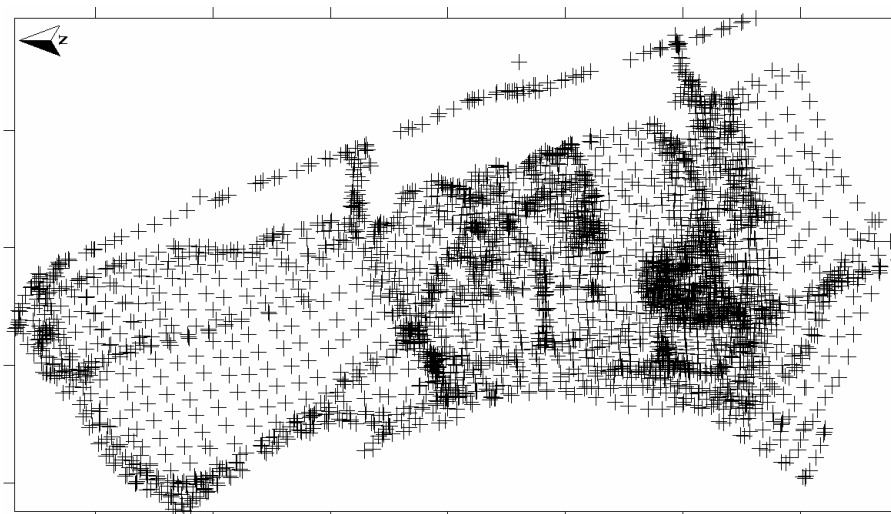


Figure 2. Présentation des 3337 points relevés

Il faut d'abord remarquer que nous avons à notre disposition que 3337 points. Cela montre que les M.N.T. ne peuvent pas être confondus avec la réalité du terrain. En effet, pour que le M.N.T. se confonde avec le site réel, il aurait fallu relever une infinité de points. Or, cette infinité n'est possible que théoriquement. On doit par conséquent se limiter aux points les plus significatifs. Pour un site comme celui de Boves, 3337 points sont largement suffisants pour avoir des M.N.T. d'une bonne qualité.

Toutefois, les valeurs levées sont hétérogènement réparties de façon à ce que le M.N.T. à mailles carrées, calculé ensuite, soit aussi précis que possible. Les points sont multipliés là où le relief est accidenté. Le tachéomètre laser fournit un format qui est généralement un séparateur de texte. Celui-ci, de par sa nature, peut être lu sur Excel. On peut par conséquent le convertir en *.xyz, qui est le format universel des données géo référencées. A partir de ce format, on peut convertir les données *.xyz en une grille à mailles carrées sous Surfer. Les 3337 points ont été relevés de manière plus ou moins dense en fonction des micro-reliefs que présentait le terrain (FORRIEZ, 2005, pp. 72-76). Cela signifie que nous ne sommes pas en présence d'un pas régulier, mais d'un pas qui varie en fonction des modelés du terrain ! Il faut par conséquent homogénéiser et densifier le nombre de points de la grille de départ sous Surfer par une méthode statistique. C'est ce que l'on appelle l'interpolation qui est une « opération qui, au moyen de méthodes géométriques ou statistiques, assigne une valeur à un élément en fonction des données de son environnement » (FELICISIMO, trad. Maxime FORRIEZ, 1994, p. 217). Le choix de la méthode est très important, car la projection sera sensiblement ou extrêmement différente. C'est ce que Angel Manuel FELICISIMO avait appelé l'analyse des erreurs (figure 1). Essentiellement, il existe deux types d'interpolation : les méthodes d'interpolation exacte où les données restent les mêmes après l'interpolation, et les méthodes d'interpolation non exactes où les données d'entrée sont

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

modifiées irréversiblement par l'interpolation (ROUSSEAUX, 2005). L'interpolation est la technique qui permet de lisser les courbes de niveau.

L'exactitude d'un M.N.T. dépend donc à la fois du mode d'acquisition des données (tableau 1) et de son mode de construction (ROUSSEAUX, 2005). Cette ultime étape réalisée, le M.N.T. peut être projeté (figure 3). La projection réalisée, il faut vérifier les erreurs. La meilleure méthode est d'aller sur le terrain. Si la projection est convaincante par rapport à la réalité de terrain, nous pouvons alors commencer à interpréter les données.

2. L'analyse des modèles numériques de terrain

Les M.N.T. doivent être considérés comme un argument parmi les autres et nous allons essayer de comprendre l'organisation spatiale du site et émettre une hypothèse expliquant la construction de la motte d'un point de vue spatial.

Limites des différents objets

Pour utiliser à bon escient les M.N.T., il faut différencier les objets composants le site et le site lui-même. Commençons par le site, quelles sont ses limites tangibles ? Il n'est pas facile de répondre à cette question. Toutefois, il possède au moins deux limites incontestables : le grand fossé barrant l'éperon au sud de la motte et le rebord du plateau à l'est. Au nord et à l'ouest, la limite est beaucoup plus floue. Aussi, le géomètre a choisi de stopper son relevé au niveau de la route actuelle, qui suit un drain hydrographique. Cette limitation du site lui donne une forme de cacahuète.

En second, il faut définir la limite de ce qui se situe à l'intérieur du site. Un gros tas de terre que l'on appelle « motte ». Une première basse-cour encercle la motte et les structures religieuses (prieuré et église). Une seconde basse-cour encercle des habitats rendus visibles par prospection aérienne et les structures religieuses. Un dernier élément saillant reste à identifier : un petit tas de terre au nord du grand. Ces données sont fournies par la carte topographique en deux dimensions. A quoi peut donc bien servir une projection en relief du site ?

Calcul de volumes

Dans un premier temps, on peut faire un cubage de la motte. Ce calcul peut être réalisé, entre autres, par Surfer, qui l'établit à partir d'une méthode adaptée au degré de fractalité de l'objet mesuré. L'hypothèse actuelle est de prétendre que le grand fossé a servi à lui seul à construire la motte. Nous tenterons de valider ou d'infirmer cette hypothèse. Aussi, il est très important de délimiter les structures spatiales du site pour ne pas mesurer deux mêmes courbes de niveau, et surtout de savoir ce que l'on mesure. La solution de calcul d'un volume sur Surfer est peu pratique puisqu'il sectionne le M.N.T. entre deux courbes de niveau définies préalablement. Ainsi, la solution la plus simple est d'isoler du nuage de points la motte. De ce fait, qu'appelons-nous « motte » ? : parce que la contemporanéité n'est pas à démontrer, nous prendrons le tertre et son talus. Ensuite, on isole du nuage de points le fossé. Puis, on lance les calculs sur Surfer. Avant de donner le résultat, précisons que la méthode de calcul est une méthode statistique. Ainsi, il faut faire très attention à ce que l'on appelle la déviation standard qui nous renseigne sur la validité du calcul. Plus elle est faible, plus le calcul est juste. On obtient les résultats suivants (tableau 3).

	Volume
Motte ($70 \text{ m} < Z \leq 83 \text{ m}$)	76 270 m ³
Grand fossé ($31 \text{ m} < Z \leq 70 \text{ m}$)	66 900 m ³

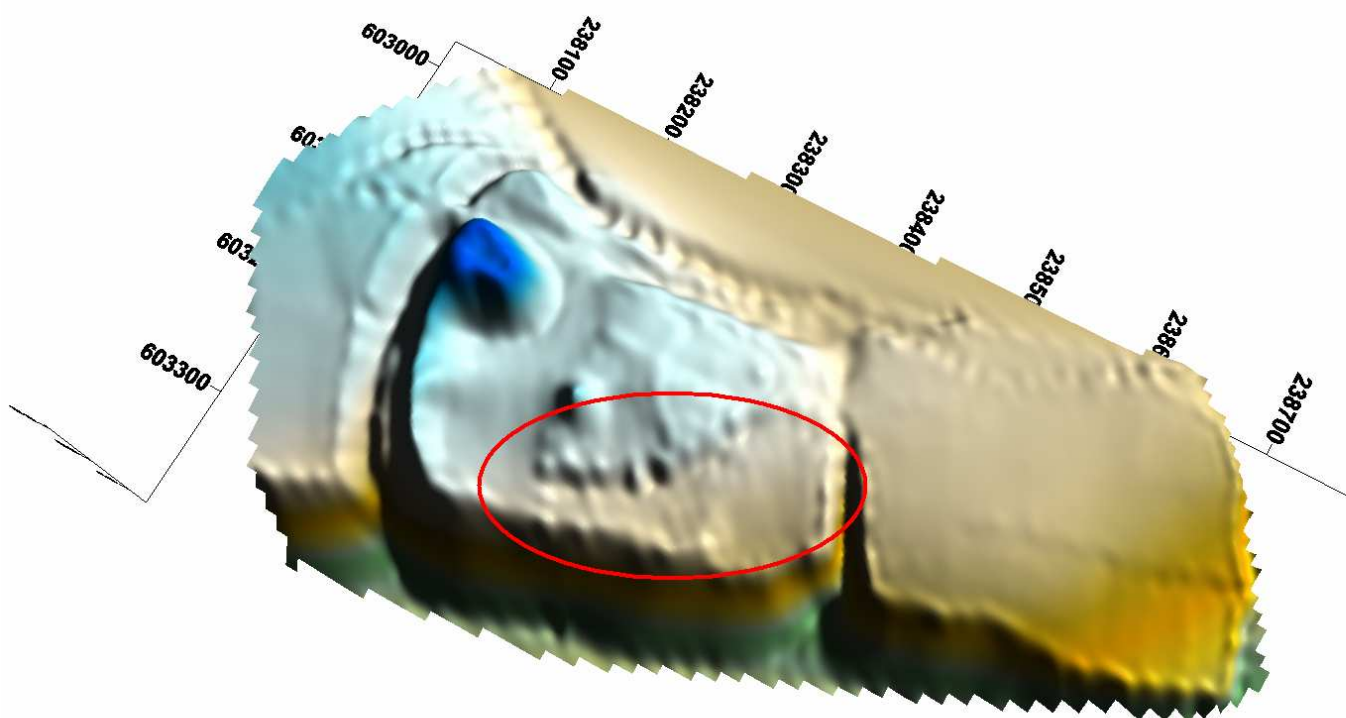
Tableau 3. Estimation du volume du grand fossé et de la motte
(Z représente l'altitude des courbes de niveau)

La première interprétation que nous pouvons faire du volume de la motte, consiste à formuler l'hypothèse de son temps de construction. Tous les auteurs de la question prétendent qu'une motte est construite en quelques mois. Vérifions cette hypothèse. Posons un chantier où nous avons cinquante ouvriers qui déplacent chacun cinquante mètres cubes par jour de terre. Nous obtenons un délai de construction de dix mois. Si on suppose qu'il s'agit d'un relief retaillé ou « rechargé », on peut estimer la construction à sept ou huit mois. Posons maintenant un chantier avec cent ouvriers qui déplacent la même quantité de terre. Nous

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

obtenons cinq mois, deux à trois pour un relief retravaillé. En sachant maintenant que l'on disposait de machines adéquates pour ce travail, une motte pouvait être construite entre deux et huit mois, soit au maximum la durée de la « belle saison » (de mars à octobre), dans le cas où on ne possède pas d'ouvriers, ce qui n'est pas le cas en temps de guerre.

La seconde interprétation de ces chiffres peut permettre d'expliquer la construction même de la motte. Si l'hypothèse actuelle était la bonne, nous n'aurions pas dix mille mètres cubes d'écart entre les deux valeurs. Où est passée la terre manquante ? Certes, le grand fossé a été en partie remblayé, mais l'érosion à elle seule n'explique pas un départ de charge de cette ampleur. De plus, il est vraisemblable que le fossé soit en partie d'origine hydrographique. Autrement dit, une bonne partie avait déjà été creusée lors de la dernière glaciation, très longtemps avant la construction de la motte. Il n'y aurait qu'un surcreusement anthropique. C'est là qu'intervient la figure 3.



Réalisé sous Surfer par Philippe MARTIN et Maxime FORRIEZ, mai 2005

Figure 3. Une projection du site de Boves

On voit un retaillage du relief, c'est-à-dire un front de carrière anthropique. En effet, cela ne peut être expliqué mécaniquement. Ainsi, pour retrouver nos mètres cubes manquants, on peut proposer l'hypothèse de construction suivante (figure 4). Toutefois, une partie de ce retaillage peut être expliquée par la construction du prieuré, mais le front de carrière identifié s'étend bien au-delà de l'endroit où a été bâti le prieuré c'est-à-dire jusqu'au talus. Où est passée la terre ? En l'état actuel des connaissances, deux solutions sont possibles : soit la terre a été utilisée pour construire la motte, soit elle a servi à faire le petit tas de terre énigmatique. Le volume de terre déplacé semble trop important par rapport à la taille du monticule. Il est donc probable qu'il a été utilisé en grande partie pour la construction de la motte. Le reste a sans doute été érodé. Une troisième hypothèse peut être envisagée. Il peut s'agir du front de carrière où ont été extraites les pierres soit du château du XII^e, soit celui du XIV^e siècle. Un sondage ou des fouilles permettraient sans doute de trancher la question.

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

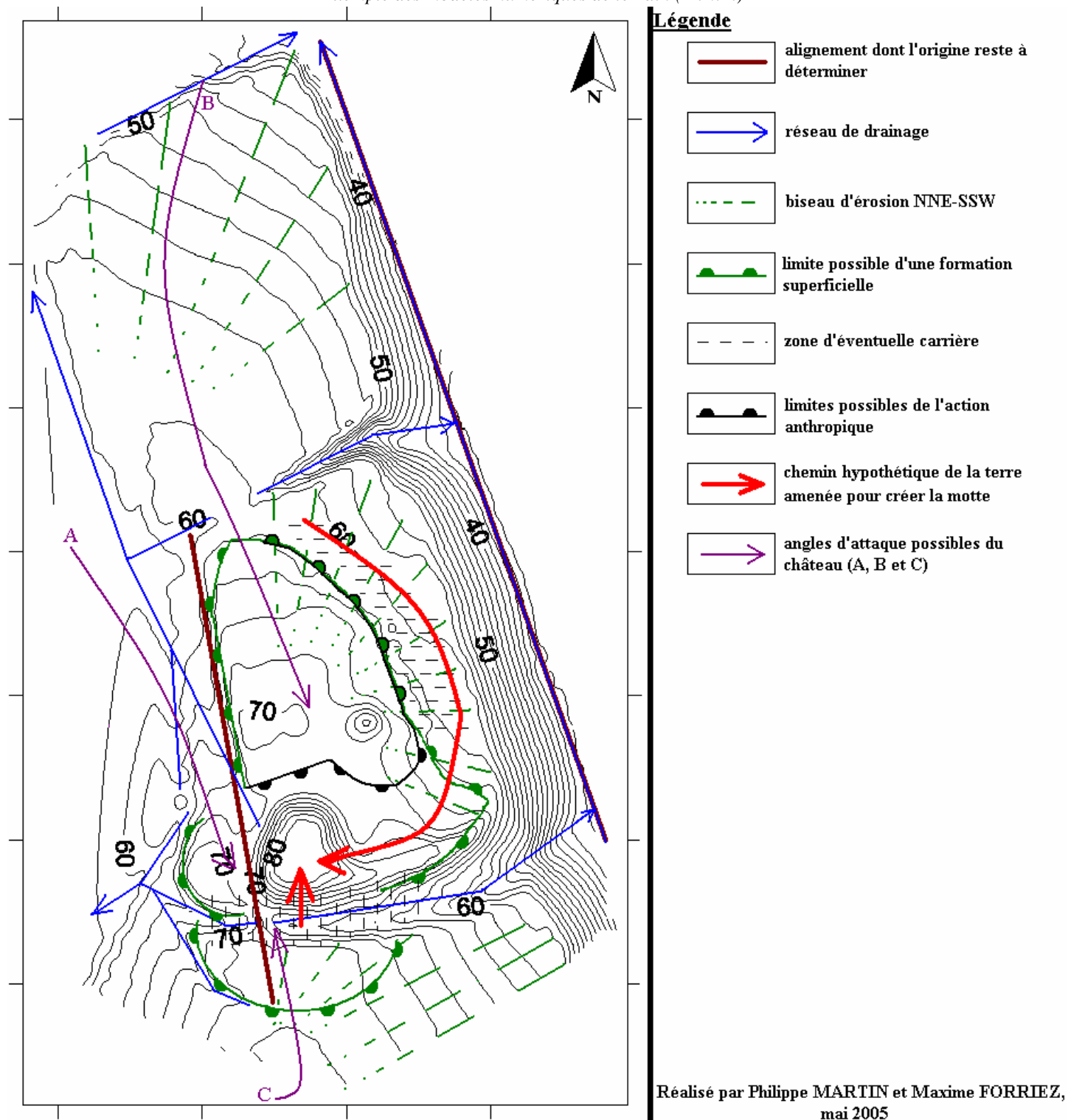


Figure 4. Morphogenèse de la motte de Boves

Si ce schéma est exact, la composition de la terre de la motte est un mélange issu du grand fossé, d'un front de carrière et du petit fossé entourant la motte. De plus, le talus sud devient logique. Ainsi, on peut désormais proposer une explication de l'organisation spatiale du site de Boves.

Explication de l'organisation spatiale du site de Boves

Le site de Boves peut être également vu comme un système à micro échelle. Qu'est-ce qui définit ce système (FORRIEZ, 2005, pp. 1-23) ? Un système peut être défini par sa cohérence, c'est-à-dire une « union étroite des divers éléments d'un corps » (*Le Robert*, 1978). Autrement dit, la cohérence est liée à la notion d'existence. Cette cohérence fait émerger les limites tangibles de son système, c'est-à-dire qu'il existe un

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

« dedans » et un « dehors », le « dehors » étant bien évidemment l'environnement du système. A partir de là, ce « dehors » structure le « dedans ». Autrement dit, dans le « dedans » émerge une identité. Enfin, l'émergence des limites est liée à la notion d'échelle. Si les échelles n'existaient pas, les limites n'existeraient pas. Une échelle $n - 1$ est incluse dans une échelle n , par exemple. Cet emboîtement contribue à faire émerger une limite, donc une forme. Ainsi, limite, échelle et cohérence sont des notions étroitement liées. A partir de ces quelques notions succinctement décrites, appliquons-les au site de Boves.

L'environnement qui structure la cohérence de la motte est composé de deux basses-cours. « C'est une enceinte protégée par un rempart de terre, avec un fossé raccordé à celui de la motte, qui est en général excentrée. Ainsi la motte n'est que le point fort d'un ensemble castral plus complexe qui est le château, bien évoqué par l'expression du château à motte » (DEBORD, 2000, p. 63). Cette citation d'André DEBORD résume bien le cas général. La motte de Boves protège bien le grand fossé. Elle semble avoir émergé au X^e siècle, en tant que lieu de pouvoir. Au XII^e siècle, se fixent deux structures religieuses : le prieuré Saint-Ausbert (XII^e siècle) et l'église Notre-Dame-des-Champs (1196). La motte et l'église vont faire émerger les limites défensives du site, en créant une première sphère. Les prospections aériennes et terrestres ont montré que dans la seconde basse-cour, il y avait des habitats qui dateraient au moins du XII^e siècle. L'église et le prieuré sont sans doute responsables de la création de cette deuxième sphère, faisant ainsi émerger un site ayant une forme de cacahuète. Ainsi, la cohérence interne du site maintient une organisation. C'est une sorte d'état à l'équilibre, dirait le physicien. Il y a un ordre sur une coupe horizontale (carte), mais également un ordre sur une coupe verticale (coupe topographique) (figure 5). Le pouvoir politique est placé sur le point le plus haut du site, le pouvoir religieux sur un niveau moyen, et ce que l'on va résumer sous le nom de « serfs », en contrebas du site (figure 5).

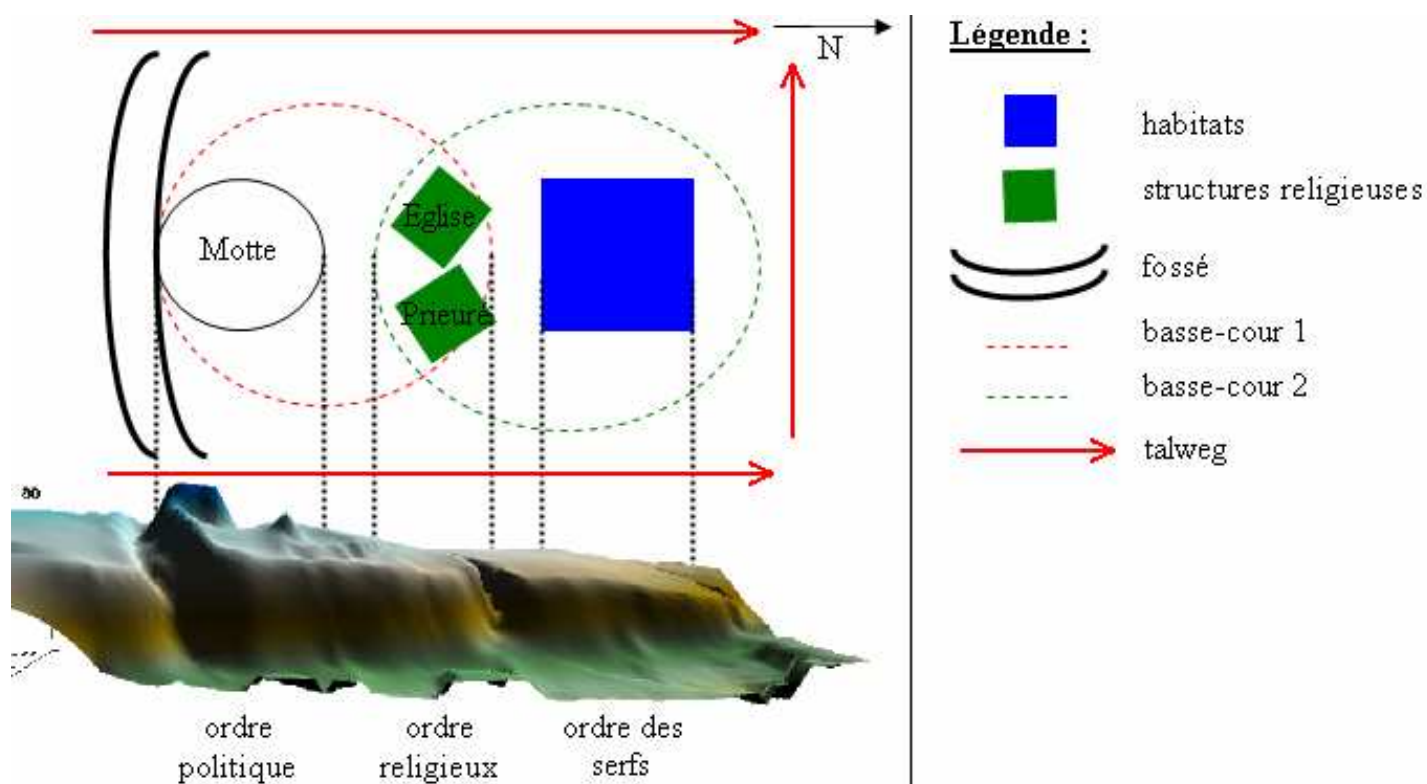


Figure 5. L'organisation spatiale du site de Boves.

Une fois que cette organisation se trouve déséquilibrée, le site commence à dépérir de lui-même puisque sa cohérence interne, son identité, est tombée « malade ». Tout commence par le débordement des habitats dans la vallée attestée dès le Moyen Age, qui va préparer la localisation de la ville actuelle, même si cela doit être nuancé par l'existence potentielle d'un second pôle autour de l'église Saint-Nicolas, par exemple. Puis, la démolition du château au début du XVII^e siècle va engendrer un état très instable puisque le château va devenir une carrière de pierres. Toutes ces pierres vont servir à renforcer l'installation de ceux que l'on avait appelé les « serfs » dans la vallée. De plus, dès le XVII^e siècle, un nouveau château va être créé dans la vallée. Enfin, en

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

1836, l'église médiévale est détruite à la faveur d'une nouvelle église installée en contrebas du plateau, contribuant à l'abandon total du site (figure 6).

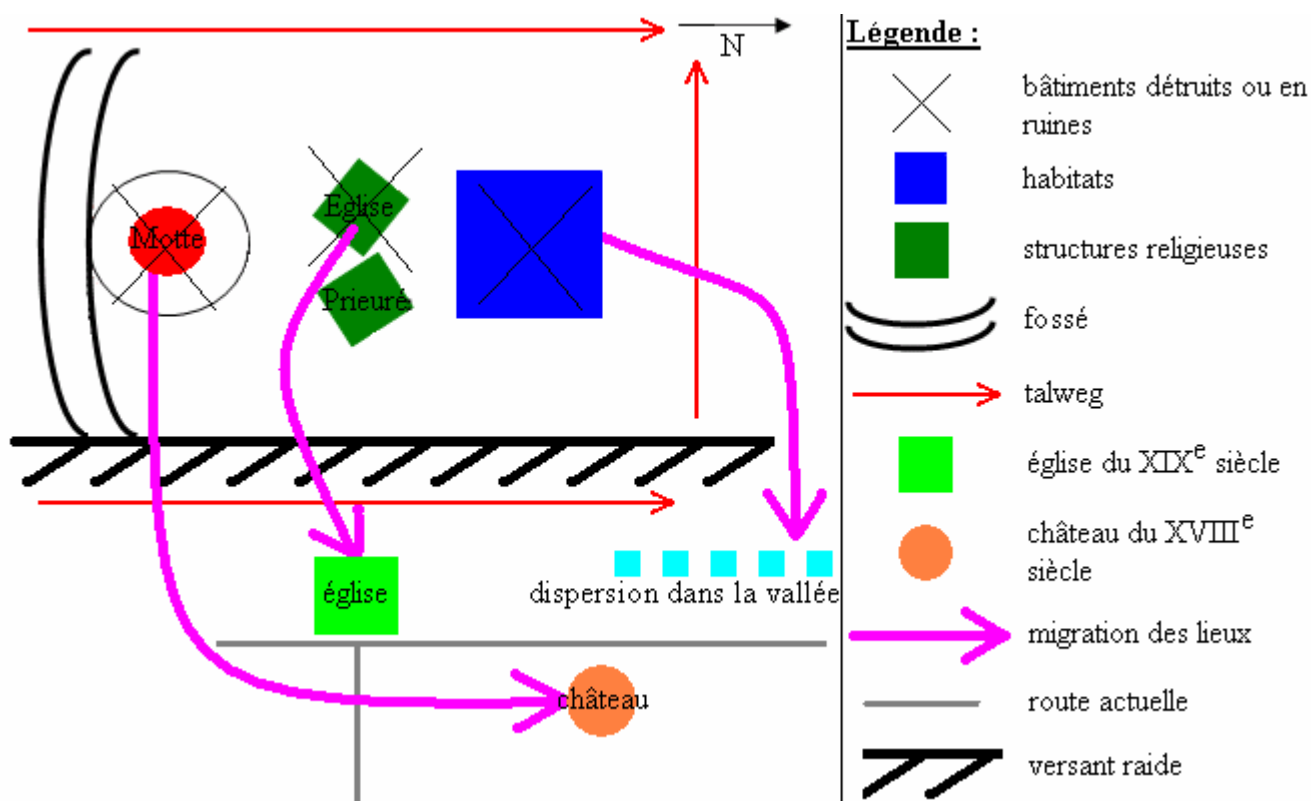


Figure 6. Déplacement des centres organisateurs dans la plaine.

Remarquons que dans cette approche, l'ordre chronologique des émergences n'a aucune importance pour le géographe, alors que l'archéologue va y attacher beaucoup plus d'intérêt. Toujours est-il que l'organisation castrale telle que l'a présenté la figure 5 se met à fonctionner pleinement aux XI^e-XII^e siècles, créant ainsi son identité. La motte et son site n'étant pas un système fermé, il faudrait également essayer de comprendre comment ils s'articulent dans la région d'Amiens, dans la région picarde et dans le royaume de France. La description du M.N.T. a permis de dégager l'organisation interne du site. On voit qu'il y a un ordre spatial et un ordre chronologique. Ce n'est pas l'objet de cet article, mais il existe aussi un ordre scalaire. Autrement dit, la place du hasard est très limitée dans le fonctionnement spatial du site. Rappelons que même le déplacement de la terre pour construire la motte est déterminé par le positionnement dans l'espace des différentes entités !

3. L'analyse structurale des M.N.T.

Dès lors, peut-on aller encore plus loin dans l'analyse morphologique du site de Boves ? La réponse est « oui », mais cela suppose la connaissance d'un puissant outil de mesure qu'est la géométrie fractale.

Présentation rapide de la géométrie fractale

Traditionnellement, nous utilisons pour décrire les formes que nous voyons la géométrie euclidienne composée par les figures classiques (carré, cercle, triangle, polygones divers...). Depuis une trentaine d'années, la géométrie euclidienne a été englobée, dépassée par une géométrie dite, de ce fait, non euclidienne : la géométrie fractale². Celle-ci étudie toutes les formes irrégulières, ou qui nous apparaissent comme telles. « Les fractales sont des objets – qu'ils soient mathématiques, dus à la nature ou dus à l'homme – qu'on appelle irréguliers, rugueux, poreux ou fragmentés, et qui, de plus, possèdent ces propriétés au même degré à toutes les échelles. C'est dire que ces objets ont la même forme qu'ils soient vus de près ou de loin » (MANDELBROT, 1997, p. 33). Il apparaît dès lors évident que notre site de Boves est fractal. En effet, aucun archétype d'Euclide

² La géométrie fractale a été inventée par le mathématicien français Benoît MANDELBROT en 1975.

Structures spatiales et archéologie
Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)

n'arrive à le décrire ! Aussi, avant de poursuivre, il faut expliquer quels sont les outils qui permettent d'étudier ces formes fractales.

Le principal outil est ce que l'on appelle la dimension fractale ou plutôt les dimensions fractales qui présentent la particularité d'être parfois non entières. Rappelons qu'Euclide et ses successeurs avaient défini les dimensions mathématiques comme étant strictement entières : la dimension zéro correspondant aux points, la dimension un aux courbes, la dimension deux aux surfaces et la dimension trois aux volumes. Depuis, on a ajouté à ceux-ci l'espace-temps à quatre dimensions d'Albert EINSTEIN et l'espace-temps fractal à cinq dimensions de Laurent NOTTALE. Ce concept de dimension au sens d'Euclide ne pouvait cependant définir que des figures que nous qualifierons de régulières créées généralement par les hommes, oubliant que la nature aimait l'irrégularité. Ainsi, les dimensions fractales qualifient tous ces objets oubliés. Il s'agit d'un « nombre qui quantifie le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un ensemble géométrique ou d'un objet naturel, et qui se réduit, dans le cas des objets de la géométrie usuelle d'Euclide, à leurs dimensions usuelles » (MANDELBROT, 1975, p. 155). C'est pourquoi la dimension fractale est un excellent moyen de description des M.N.T. (FELICISIMO, 1994, pp. 93-96). Ainsi, le site de Boves a une dimension fractale comprise entre deux et trois c'est-à-dire que ce n'est pas une surface lisse mais pas tout à fait un volume plein. C'est quelque chose d'intermédiaire. C'est un objet fractal.

Quelle est la dimension fractale du site de Boves ?

Pour établir la dimension fractale du site de Boves, Microdem a été utilisé. En effet, la numérisation des données du relief permet de traiter ce dernier comme un signal. Autrement dit, on peut appliquer la transformée de Fourier, fonction disponible sur le logiciel. Ainsi, l'application lancée et en utilisant la méthode d'analyse adéquate (GOUYET, 1992, p. 59), on obtient une dimension fractale variant entre 2,32 et 2,37.

Que signifie cette valeur ? Il est très difficile de cerner un sens précis dans l'état actuel des recherches. Toutefois, ces chiffres correspondent à la mesure de l'irrégularité du site. Selon la typologie de Philippe MARTIN, un relief ayant une dimension entre 2,2 et 2,4 a une morphologie arrondie (2004, p. 97). On peut comparer ces chiffres avec les valeurs obtenues par ce même auteur. Il avait obtenu 2,2 pour le karst de la Sainte-Baume, 2,31 pour le mont Lozère et 2,41 pour le mont Aigoual (MARTIN, 2004, p. 79). Ainsi, nous possédons désormais l'outil qui permet de comparer les formes indifféremment de leur taille. Peut-on comparer les sites de même nature, comme les mottes castrales ? Actuellement, ce n'est pas possible. En effet, seules deux mottes ont été relevées en Picardie : celle de Boves et celle de Bonneuil-les-Eaux. Dans un premier temps, il est donc raisonnable d'utiliser la dimension fractale dans la perspective de réaliser des typologies. C'est ce que proposera cet article, même si d'autres utilisations plus techniques pourraient être envisagées le cas échéant.

Les perspectives d'une telle approche en archéologie

Les M.N.T. sont des fractales. Toutefois, l'archéologie est une discipline qui rencontre de nombreuses fractales. Cela apparaît désormais évident, les formes dégagées ne sont jamais euclidiennes mais est-ce utile pour l'archéologue de terrain de mesurer la dimension fractale de ces objets ? A l'heure actuelle, la réponse est « non », personne ne faisant ce calcul. La pratique régulière de la dimension fractale permettrait sans doute d'améliorer nos typologies. En effet, elles seraient libérées de l'arbitraire de notre perception. Autrement dit, épistémologiquement, on aurait des « typologies objectivées ». Celles-ci faciliteraient la comparaison entre les différentes structures archéologiques que l'on met à jour, ici et là, et peut-être révéleraient des éléments auxquels nous n'avions pas pensé, ce qui arrive très souvent. C'est un beau rêve. La réalité de terrain est tout autre. Pour mesurer ces structures, il faudrait densifier le nombre de points relevés. Là où on en mesurait huit, il faudrait en relever une centaine. Le manque de temps, lorsque l'on fait des fouilles, empêche donc ces mesures. Toutefois, lorsque la structure est complexe, une projection en relief et une approche structurelle s'imposeraient d'elles-mêmes.

L'étude structurelle s'est surtout préoccupée de problèmes spatiaux. Qu'en est-il du temps ? N'oublions qu'il demeure la préoccupation essentielle de l'archéologue, son principal but étant d'établir une datation relative grâce aux couches stratigraphiques. Rappelons que cette stratigraphie est une méthode inventée par les

*Structures spatiales et archéologie**Exemple des modèles numériques de terrain (M.N.T.)*

géologues. Aussi, Microdem permet également de faire de la stratigraphie. On retrouve l'intérêt militaire du logiciel. En effet, dans un pays étranger que vous combattez, connaître ses ressources minérales est toujours utile. En multipliant les points relevés, on pourrait sans problème rebâtir toute la stratigraphie archéologique d'un site, et surtout la localisation précise sur le terrain. Ainsi, on réaliserait des coupes topographiques d'une précision plus grande. Encore une fois, la méthode reste largement à bâtir, et ce n'est pas l'objet de cet article mais elle est suffisamment intéressante pour que l'on s'y intéresse dès aujourd'hui.

Nous avons vu que les M.N.T. sont des outils transdisciplinaires dans la mesure où ils peuvent être utilisés aussi bien en archéologie qu'en géographie. Le second argument confortant cette idée est que les M.N.T. font appel dans leur fonctionnement à la géométrie fractale, géométrie qui est souvent synonyme « d'universalité ». Aussi, nous sommes en droit de penser qu'elle pourrait réussir à unir les différentes disciplines, là où le temps semble avoir échoué afin de mener de véritables recherches transdisciplinaires. Nous avons également vu qu'archéologie et géographie spatiale pouvaient également cohabiter autour de l'analyse des M.N.T. Ne pourrions-nous pas développer davantage ces liens ? La question reste ouverte et le débat demeure très vif. Toujours est-il que les M.N.T. ont leur place en archéologie et s'y développe de plus en plus. Le microrelief retaillé que nous avons identifié (figure 3), pourra servir d'argument pour ouvrir une fouille, par exemple. Ainsi, leurs développements au sein même de la discipline semblent inéluctables mais ils nécessitent une solide connaissance de l'informatique, notamment dans les astuces de traitement des données qui sont loin d'être évidentes, ou dans l'utilisation même des logiciels. C'est l'utilisateur qui doit dominer le logiciel, et non, comme c'est encore trop souvent le cas, le logiciel qui domine l'utilisateur. A méditer.

Bibliographie

BOUTTE, Philippe, *Relevé topographie de l'éperon au lieu-dit « le château et l'ormelet ». Ville de Boves. Coordonnées des sommets. Système de coordonnées LAMBERT et nivellement rattaché au N.G.F.*, Boves, 1997, 3337 points.

DAUPHINE, André, *Les théories de la complexité chez les géographes*, Paris, Economica, 2003, 248 p.

DEBORD, André, *Aristocratie et pouvoir. Le rôle du château dans la France médiévale*, Paris, Picard, 2000, 238 p.

FELICISIMO, Angel Manuel, *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*, Oviedo, Pentalfa, 1994, 220 p.

FORRIEZ, Maxime, *L'étude de la motte de Boves permet-elle de mener une réflexion épistémologique commune en archéologie, en histoire et en géographie ?*, Arras, Mémoire de master 1 d'histoire et de géographie, 2005, 156 p.

GOUYET, Jean-François, *Physique et structures fractales*, Paris, Masson, 1992, XIV-234 p.

http://www.wood.army.mil/TVC/MicroDEMv6/microdem_ver_60.htm

MANDELROT, Benoît, *Les objets fractals*, Paris, Flammarion, 1975, 208 p.

MANDELROT, Benoît, *Fractales, hasard et finances (1959-1997)*, Paris, Flammarion, 1997, 246 p.

MARTIN, Philippe, *Modélisation fractale et structurelle des formes en géographie. Réflexion développée à partir d'exemples karstiques*, 3 tomes, Avignon, HDR en géographie, 2004, 169 p., 314 p., 179 p.

ROUSSEAU, Frédéric, *Caractérisation d'erreurs sur un modèle numérique de terrain en fonction de zones morphologiques*, http://recherche.ign.fr/docBI75B09_75_ROUSSEAU.pdf, Bulletin d'information scientifique et technique de l'I.G.N., n°75, 2005, 6 p.