Chapitre 2.2.3
Analyse par mailles dans un contexte d'archéologie préventive

Sylvain BADEY

Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap)/
CITERES UMR 7324, CNRS, Université de Tours, Tours

À l'échelle d'un territoire, l'archéologue cherche à comprendre l'organisation spatiale des occupations humaines à une période donnée et sur le temps long. Il dispose généralement de cartes de répartition des vestiges ou des sites connus. Il est possible de mobiliser ces mêmes données avec une approche d'analyse spatiale, c'est-à-dire de prendre en compte la localisation des objets ou des phénomènes étudiés comme une caractéristique intrinsèque à l'instar des autres attributs qui le caractérisent (datation, interprétation archéologique, etc.).

L'utilisation de plus en plus systématisée de Systèmes d'Information Géographique (SIG) couplés à une base de données dès la phase de terrain permet de disposer de corpus structurés. Cela permet l'utilisation de méthodes statistiques et d'analyse spatiale pour questionner les logiques de localisation des objets/vestiges/sites et leur structuration spatiale. Il s'agit par exemple, d'estimer le rôle que joue la distance ou le voisinage géographique dans un assemblage de données archéologiques, au même titre que celui joué par d'autres variables thématiques comme la morphologie, la matière…

Dans ce chapitre, nous utiliserons l'approche par mailles appliquée à une étude de l'occupation du sol sur le temps long à partir de vestiges archéologiques mis au jour lors d'un ensemble de diagnostics d'archéologie préventive réalisés en amont du projet d'aménagement de la ZAC d'Ozans sur la commune d'Etrechet (Indre) entre 2009 et 2011.

1 Analyse d'un diagnostic en tranchées mécaniques

Les diagnostics archéologiques en tranchées mécaniques sont effectués pour fournir à l'État des éléments tangibles d'aide à la décision en vue de la prescription de fouilles. En 2011, une succession de diagnostics a permis d'investiguer 226 hectares à Etrechet dans l'Indre à l'aide de 124 kilomètres de tranchées mécaniques. Ces opérations ont fait l'objet de cinq rapports d'opération[1] qui ont permis par la suite la prescription de cinq fouilles couvrant les périodes de l'âge du bronze jusqu'à l'époque médiévale.

À partir de l'opération de diagnostic, l'étude publiée en 2015 (Badey *et al.* 2015) avait deux objectifs. Le premier était de s'affranchir de la grille de lecture créée artificiellement par la méthode des tranchées continues pour étudier dans un premier temps la répartition par périodes de vestiges archéologiques sur la totalité de la zone. Le deuxième objectif était de mettre en évidence de potentiels agrégats de vestiges et de les caractériser archéologiquement par période. Pour cela, nous avons mis en œuvre des analyses par mailles régulières puis des méthodes d'analyses statistiques de premier et de second ordre, généralisées par la méthode des fenêtres mobiles[2]. Dans ce chapitre nous ne présenterons que l'analyse par mailles régulières et nous renvoyons le lecteur à l'article original pour une présentation des autres méthodes (Badey *et al.* 2015).

Ce type d'analyse spatiale* a une vocation exploratoire. Elle ne vise pas à remplacer l'analyse archéologique mais au contraire à la consolider en apportant un point de vue complémentaire. La confrontation des points de vue, celui de l'interprétation archéologique issue du terrain et celui de l'interprétation des résultats issue de l'analyse statistique et spatiale des données, ouvre notre regard sur des concordances ou au contraire des anomalies qui méritent un nouveau questionnement et un retour sur les données observées. Dans ces conditions, la démarche d'analyse statistique et spatiale est un outil d'aide à la lecture des données archéologiques qui vise à affiner notre interprétation du terrain sans l'enfermer dans des schémas trop étanches et préconçus.

Outre l'analyse statistique des vestiges et de leur localisation, des méthodes de représentations cartographiques intelligibles vont permettre de guider la réflexion des archéologues dans leur aller-retour entre l'analyse de terrain et l'analyse de données spatiales.

2 Les données mises en œuvre

La méthode utilisée pour le diagnostic est classique en archéologie préventive. Il s'agit de tranchées réalisées à la pelle mécanique de façon continue sur toute la largeur de chaque parcelle comprise dans l'emprise du projet (Figure 1). Ces tranchées sont ouvertes sur une largeur de 2 m avec un espacement de 18 m entre chacune d'elles.

[1] *Cf.* sous la direction de Matthieu Munos : Munos (dir.) *et al.* 2010a ; Munos (dir.) *et al.* 2010b ; Munos (dir.) *et al.* 2010c ; Munos (dir.) *et al.* 2010d.

[2] Comme pour la moyenne mobile* (*cf.* 2.2.7.), la méthode des fenêtres mobiles est une méthode de lissage qui consiste à calculer la valeur d'un point (ou d'une information dans une maille) en fonction des valeurs situées dans un voisinage* de rayon r fixé par l'analyste (statisticien, archéologue, géographe…). Cette méthode permet d'éviter les contraintes liées à la forme ou la taille des unités spatiales (ici les mailles). Dans un calcul de densité* (spatiale) par exemple, la valeurs points situés en bordure d'une maille x1 seront pris en compte pour le calcul de la maille x0, car x1 est située dans le voisinage de rayon r de x0.

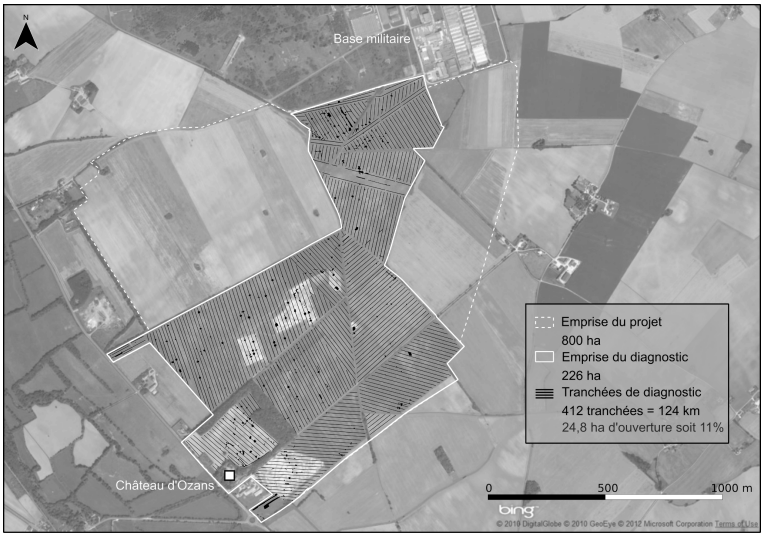


FIG. 1 : Emprise du projet d'aménagement de la ZAC d'Ozans (36) et de la phase 1 du diagnostic archéologique.

Aux tranchées, s'ajoutent des fenêtres d'extensions quand cela est jugé nécessaire pour la caractérisation des vestiges découverts dans les tranchées. L'ouverture des tranchées et des fenêtres d'extensions consiste à réaliser un décapage de la zone, c'est-à-dire à éliminer la couche de terre végétale pour atteindre les niveaux archéologiques et relever plus précisément leur caractéristique, leur extension et leur localisation dans la zone étudiée.

Dans notre cas d'étude, la surface totale ouverte (tranchées et fenêtres d'extension) correspond à 11 % de l'emprise de diagnostic prescrite (*cf.* Figure 1). Les données ont été enregistrées directement sur le terrain avec d'une part leur coordonnées spatiales (x, y et z) — à l'aide d'une station totale[3] puis versées dans un SIG —, et d'autre part une série d'attributs quantitatifs et qualitatifs (diamètre, longueur, largeur, datation, présence et type de mobilier…) dans une base de données relationnelle renseignée sur une tablette PC. Chaque unité d'enregistrement est un « fait » archéologique[4] vestige d'une activité humaine passée et représentée sous la forme d'un polygone. Les vestiges enregistrés ont été essentiellement datés quand cela a été possible par le mobilier qu'ils contenaient, ou par association avec d'autres objets ou vestiges. Compte tenu de la nature même de la méthode d'investigation, la liste des données enregistrées n'est pas exhaustive. D'un point de vue statistique, ces données constituent un sous-ensemble d'individus* d'une population* que l'on ne connaît pas (*cf.* 4.). En ce sens, nous ne

[3]Une station totale est un tachéomètre, soit un instrument topographique de mesure d'angles (horizontaux et verticaux) et de distances, qui a la particularité d'enregistrer les données dans un carnet de terrain numérique.

[4]La définition de fait archéologique est relative au concept de stratigraphie tel que défini par Harris (2019). Un fait archéologique est un ensemble cohérent composé d'une ou plusieurs unités stratigraphiques. Le fait se distingue de l'artefact par sa non-portabilité par exemple un mur, une fosse… Dans le cas d'un dépôt d'artefacts par exemple, on pourra également parler de fait dans le sens où l'ensemble associé au dépôt n'est pas mobile à la différence des objets qui le composent.

savons pas si ce sous-ensemble d'individus constitue un échantillon* représentatif mais on peut en faire l'hypothèse pour conduire l'analyse statistique.

Durant l'opération 2000 faits ont été enregistrés mais seuls 540 ont pu être datés. Comme notre premier objectif est d'appréhender, l'occupation humaine dans la longue durée dans la zone diagnostiquée en s'affranchissant de la grille de lecture créée par les tranchées, nous avons mobilisé les 506 enregistrements[5] datés dans notre analyse spatiale avec une répartition par grandes périodes (Protohistoire, Antiquité, Moyen-Âge, Époque Moderne). Il s'agit ainsi de décrire, de caractériser et de représenter la densité des vestiges archéologiques au sein de l'espace étudié par période puis d'observer les changements d'une période à l'autre.

3 L'analyse par mailles régulières du taux de faits archéologiques par périodes

Les mailles régulières découpent une zone en entités spatiales contiguës de forme et de taille identiques. Le maillage ainsi défini permet de s'affranchir, dans une certaine mesure, des limites de l'implantation des tranchées qui malgré leur régularité créent un filtre et brouillent la lecture de la répartition des vestiges archéologiques. Le maillage régulier s'apparente au carroyage qui est un moyen simple de division de l'espace à la fois pour se repérer et pour calculer des densités. Il est couramment utilisé en archéologie soit directement implanté sur le terrain (notamment en archéologie préhistorique ou pour des secteurs particulièrement denses en matériel) soit a *posteriori* pour appréhender la répartition des densités. Il s'agit donc d'une méthode et d'une « grille de lecture » usuelle pour l'archéologue.

Malgré cette apparente simplicité, pour être efficace l'analyse par mailles régulières ou tessellation *a posteriori* nécessite de respecter certaines conditions et de maîtriser les étapes de son élaboration :

- La définition de la maille (forme, taille et orientation)
- Le choix des données à représenter (brutes ou calculées)
- Le découpage en classes (nombre de classes, choix de la méthode de **discrétisation**[6])
- La représentation cartographique (règles de sémiologie graphique)

3.1 Définir la maille (forme, taille et emplacement), une première étape

Dans le cadre d'une analyse par mailles régulières, cela consiste à choisir selon quelle grille de lecture et à quelle échelle d'analyse, nous souhaitons étudier le phénomène observé (*cf.* 2.2.2). Par exemple, le maillage ne sera pas le même pour l'étude des modalités d'occupation et d'exploitation du sol dans la longue durée dans un espace

[5] Nous avons écarté du corpus les Faits datés de la Préhistoire et de l'Époque contemporaine en raison de leur trop faible représentation (respectivement 32 et 2 Faits)

[6] La discrétisation est une opération qui consiste à transformer une variable continue en variable discrète, c'est-à-dire sous la forme d'un ensemble de plages de valeurs ou catégories

composé de plusieurs bâtiments et espaces de travail (basse-cour, jardin, champs, voies de circulation…), que pour celles des différentes activités qui se sont déroulées dans une même pièce et dont les traces sont des foyers, des zones de rejets… Dans les deux cas, la visualisation à la fois détaillée mais segmentée des indices archéologiques, permet difficilement d'interpréter ces distributions complexes de vestiges. Bien qu'il réduise l'information à une moyenne ou une densité, le maillage permet néanmoins de gagner en lisibilité notamment par une représentation continue de l'espace. La taille et la forme de la maille affectent la manière dont l'information est réduite, donc le résultat statistique attendu ; il s'agit alors de trouver le juste équilibre entre détail et réduction pour gagner en lisibilité et produire indirectement une nouvelle information, par exemple deux zones d'occupation distinctes par leur asynchronie ou par la nature de l'occupation du sol.

La forme : les mailles carrées (carroyage) sont les plus courantes et les plus utilisées en archéologie car elles ont l'avantage de pouvoir facilement se combiner entre elles, d'une échelle à l'autre ou d'une ressource à l'autre grâce au format raster* (par exemple avec l'imagerie aérienne ou satellite ou encore avec d'autres données thématiques). La maille hexagonale est parfois utilisée car l'hexagone est la forme régulière la plus proche du cercle permettant de paver l'espace en tendant à un optimum isopérimétrique. Ce type de maille réduit ainsi l'effet de décalage géographique observé avec les mailles carrées. Néanmoins le maillage hexagonal peut rendre la lecture des résultats moins aisée et plus difficile à croiser statistiquement avec d'autres données. Enfin, d'autres mailles de forme triangulaire — voire losangique — parfois utilisées en archéologie subaquatique, peuvent se justifier dans le cas d'une collecte par échantillonnage systématique et permet de faire des calculs par triangulation. Elle n'est pas adaptée à notre cas d'étude.

Le choix de la taille de la maille dépend à la fois de l'échelle d'analyse choisie et de la taille des objets ou phénomènes étudiés et parfois des usages de la discipline en termes d'enregistrements (par exemple, en archéologie préhistorique le carroyage avec des unités d'un mètre ou d'un quart de mètres carrés constituent une grille d'enregistrement et donc de lecture usuelle). Selon les cas de figure étudiés, il existe des méthodes statistiques pour déterminer la taille de la maille théoriquement la plus adaptée en fonction de la taille de la zone d'étude et de l'effectif des données analysées (Hengl 2006 ; Saligny *et al.* 2008 ; Nuninger, Saligny *et al.* 2012b pour une application archéologique).

Dans notre cas d'étude, le choix a essentiellement été guidé par le mode d'investigation en tranchée régulière. Il s'agissait en effet, d'obtenir un maillage continu permettant à la fois de couvrir la zone en éliminant autant que possible le nombre de mailles couvrant des zones vides (entre deux tranchées par exemple) et d'éviter des ruptures artificielles entre deux mailles grâce à une taille de maille qui puisse recouper autant que possible deux tranchées. Ces contraintes nous ont amenés à choisir une maille carrée avec des unités de 50 m de côté. Ce choix définit la résolution d'étude et de représentation de la zone de recherche qui a ainsi été découpée en 1 024 carrés de 50 m de côté dont 87 seulement ne sont pas intersectés par une tranchée, majoritairement en bord d'emprise.

L'orientation du maillage est aussi un paramètre qui peut avoir son importance. On peut effectivement chercher à s'adapter à la forme et à l'orientation des zones sondées afin de réduire au maximum la superficie des mailles correspondant à des zones vides (ici les carrés qui n'intersectent aucune tranchée). L'absence de données archéologiques dans une maille qui intersecte une tranchée et l'absence de données dans une maille qui correspond à une zone vide peuvent être toutes les deux associées à la valeur nulle pour l'analyse, même si par nature elles n'ont pas la même valeur interprétative. Si elles sont trop nombreuses les zones vides risquent de peser dans l'analyse statistique, par exemple en tirant artificiellement une moyenne vers 0. En analyse spatiale, nous appelons cela les **effets de bord**. Si orienter son maillage peut parfois réduire cet effet de bord, d'une part il ne le fait pas forcément de façon totalement optimale et par ailleurs cela peut poser des problèmes pour combiner l'information obtenue avec des informations issues d'autres sources.

Pour éviter cet effet de bord nous avons donc supprimé purement et simplement toutes les mailles situées sur le pourtour de l'emprise qui ne recoupent pas de tranchées et nous avons codées en *nodata value*[7] les quelques mailles vides internes pour qu'elles ne soient pas intégrées comme valeur effective dans l'analyse statistique et/ou spatiale des données.

3.2 Le choix de l'information à reporter dans les mailles

L'archéologue peut faire le choix de représenter une valeur brute (par exemple le nombre de points dans chaque maille) ou une valeur calculée (par exemple une proportion ou une valeur estimée en fonction des valeurs de voisinage*). Le carroyage dit adressé est utilisé quand les objets étudiés à l'échelle d'analyse choisie peuvent être représentés sous la forme d'un semis de point. Dans ce cas, l'information correspond à une valeur brute c'est-à-dire à un simple comptage des objets étudiés dans chaque maille. Dans le cadre de notre étude certains vestiges, en particulier linéaires (fossés et chemins) ne pouvaient être généralisés par un point, c'est pourquoi nous avons fait le choix d'un carroyage dit ventilé (Lajoie et Bussi 1993). La ventilation consiste ici à effectuer un *clipping zonal*, c'est-à-dire à reporter la somme des proportions de surface couverte par l'ensemble des vestiges dans la surface totale d'une maille (*cf.* figure 2b). Concrètement, dans chaque maille on calcule pour chaque fait intersecté par celle-ci, la proportion de sa surface incluse dans cette maille ; puis on calcule la somme des proportions surfaciques de tous les faits présents dans la maille. Par exemple, dans le cas de la maille A2 de la figure 2, qui contient 60 % de la surface d'un fait et 25 % d'un autre, on prendra en compte la somme de ces proportions de surface soit 0,6 + 0,25 = 0,85. Cette maille contient donc l'équivalent de 0,85 fait archéologique. L'indice d'occupation surfacique ainsi calculé est ensuite pondéré par l'effectif total des faits enregistrés dans la zone d'étude, soit 5 dans l'exemple de la figure 2. Par conséquent, la valeur reportée dans la maille A2 est de 0,85 / 5 = 0,17 ce qui revient à dire que la maille A2 contient 17 % des faits de la zone étudiée (*cf.* figure 2c). Pour chaque période, on procède à ce calcul en divisant l'indice d'occupation surfacique des

[7] Le codage informatique de valeur *nodata* (*null*, *nan* ou -9999) permet de donner à un pixel une valeur ne représentant aucune information car non renseignée. Cette valeur *nodata* ne doit pas être confondue avec une valeur de pixel de 0 qui rend compte d'une absence de données dans le cas d'une zone étudiée (renseignée).

faits datés de cette période pour chaque maille par l'effectif total des faits enregistrés pour cette même période.

En effet, si on ajoute à ce problème de répartition surfacique des faits dans les mailles, la question temporelle, nous devons prendre en compte les fortes disparités en nombre de faits par période, dues à la fois aux propriétés intrinsèques des vestiges – une *villa* gallo-romaine laissant des traces plus nombreuses et plus grande qu'un petit habitat sur poteaux – mais aussi à l'importance de la représentation de chaque période, les vestiges médiévaux étant moins nombreux que ceux de l'Antiquité et de la Protohistoire.

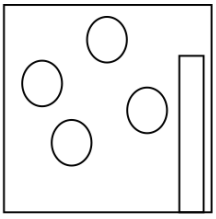


Figure 2a - Faits archéologiques
N = 5

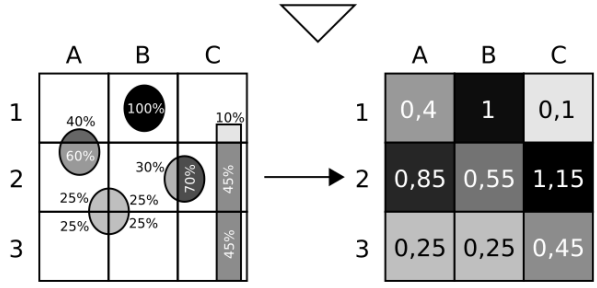


Figure 2b - Application d'une maille et *clipping zonal*
Σ = N = 5

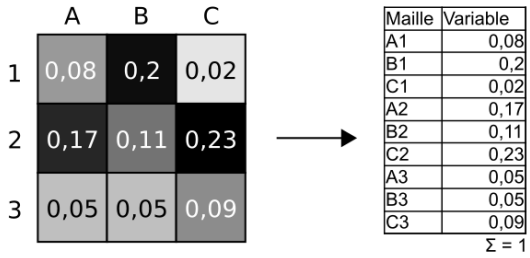


Figure 2c - Mise à l'échelle (division par N) et Tableau élémentaire
Σ = 1

FIG. 2 : Méthode du carroyage ventilé par étapes : a) cartographie et dénombrement des faits archéologiques ; b) application d'une maille et *clipping zonal* des surfaces de faits ; c) Mise à l'échelle (normalisation) et extraction des valeurs de la variable.

D'un point de vue pratique, il s'agit d'un géotraitement simple : le découpage de polygones (les faits) d'après une autre couche de polygones (le maillage), suivi de deux opérations algébriques, d'abord le calcul de la proportion de surface des faits découpés par le maillage puis leur addition au sein de chaque maille. Ces deux opérations algébriques sont simplement réalisées à l'aide de la calculatrice de champs dans logiciel SIG[8].

D'un point de vue statistique, une telle opération permet de passer du fait archéologique (figure 2a) à un taux de présence de faits archéologiques par maille. Le résultat est un tableau élémentaire* dans lequel les individus sont donc les mailles et la variable étudiée le taux de faits archéologiques (figure 2c).

Une fois la maille et la variable à étudier créées, il reste à analyser cette dernière, grâce à une analyse statistique univariée* et une représentation cartographique. La variable est de nature quantitative relative car elle est numérique et issue d'un rapport entre deux valeurs. Le typage des données guide le type d'analyse statistique et de représentation cartographique à effectuer ensuite.

3.3 L'analyse statistique de la distribution dans le maillage

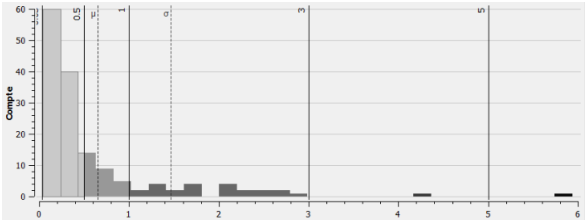
L'analyse de la distribution* d'une variable continue* (ici, le taux de faits archéologiques par maille) permet d'en faire un résumé statistique. La discrétisation ou découpage en classe réalisé ensuite contribue à élaborer une représentation graphique et cartographique efficace.

L'analyse univariée de la série statistique consiste à en faire un résumé statistique grâce au calcul des paramètres de position (minimum, maximum, mode*, moyenne* et médiane*) et de dispersion* (écart-type*) ainsi que de caractériser sa forme de distribution (*cf.* 4).

D'une manière générale, la distribution des taux de faits archéologiques dans les mailles est asymétrique (ou dissymétrique) à gauche. En effet, une majorité d'individus ont des petites valeurs – autrement dit beaucoup de mailles contiennent peu de faits archéologiques – et quelques-unes ont de très fortes valeurs – seulement quelques mailles contiennent de fortes concentrations. Il en résulte une distribution qui s'exprime statistiquement par une forte étendue (différence entre la valeur maximale et la valeur minimale), une médiane de faible valeur et inférieure à la valeur de la moyenne et un écart-type important (indicateur d'une forte dispersion des données autour de la moyenne).

La figure 3 illustre le cas où l'analyse porte sur le taux de faits archéologiques par maille toutes périodes confondues et hors mailles vides (*nodata*). La maille avec le plus faible taux de faits (minimum) contient 0,03 % de la totalité des faits alors que la plus dense (maximum) en contient 10,07 %. Le mode (0,78 %) est la valeur des mailles la plus fréquente. La médiane est de 1,58 %, c'est-à-dire que 50% des mailles contiennent un taux inférieur à 1,58 % tandis que les autres 50 % ont un taux supérieur à 1,58 %. Enfin, en moyenne une maille contient 2,70 % des faits. La distribution représentée

[8] Le détail des manipulations faites dans le logiciel QGIS sont décrites dans Badey 2017 p. 12-13.



Minimum	0,03
Maximum	10,07
Etendue	10,04
Mode	0,78
Médiane	1,58
Moyenne	2,70

FIG. 3 : Diagramme de distribution et résumé statistique des taux de faits archéologiques par maille (toutes périodes confondues, hors *nodata* codés *null*)

ici sous la forme d'un diagramme de distribution[9] est asymétrique à gauche avec une forte majorité de petites valeurs et une dispersion de plus en plus importante vers les valeurs élevées.

L'analyse des séries statistiques des taux de faits archéologiques par périodes met en évidence des distributions similaires : asymétriques à gauche. Il s'agit ensuite de choisir un découpage en classes approprié à la fois à la distribution et à l'objectif principal qui est de représenter cartographiquement ces taux de faits archéologiques par périodes successives dans un même espace pour qu'ils soient signifiant sur le plan statistique et archéologique.

3.4 L'étape de discrétisation

La discrétisation, c'est-à-dire le découpage en classe d'une variable, est utilisée pour résumer une série statistique continue et la représenter graphiquement sous la forme d'un histogramme* (*cf.* 4.). Cette méthode est utilisée ici avec les mêmes objectifs de simplification de l'information auquel on ajoute la contrainte de la représentation cartographique et des règles de la sémiologie graphique (Bertin 2005) qui imposent par exemple un nombre maximum de classes et l'usage de la variable rétinienne ou visuelle « valeur »[10]. La discrétisation fait appel aux méthodes des statistiques descriptives univariées (*cf.* 4.) afin de résumer la série statistique, de l'analyser avant de choisir une méthode de découpage qui répond aux objectifs. En premier lieu le choix du nombre de classes est ici régi par les règles de la perception visuelle qui impose une réduction de l'information pour proportionnellement augmenter la lisibilité de la carte (sept classes au maximum, nous en avons ici choisi cinq avec un dégradé de gris et une classe en blanc pour signifier l'absence de faits archéologiques). Le choix de la méthode de discrétisation à utiliser se fait en fonction de plusieurs critères, en premier lieu la forme de la distribution de la série statistique (asymétrique à gauche dans notre cas d'étude) mais aussi la nécessité de comparer plusieurs séries sur un même espace à différentes périodes.

Nous avons utilisé la méthode des seuils naturels ou seuils observés, c'est-à-dire que grâce à l'étude de la distribution de la série statistique nous avons défini les bornes de classes au niveau des ruptures de valeurs de fréquence dans la distribution (Figure 3).

[9] À ne pas confondre avec l'histogramme (*cf.* 4.)

[10] La variable rétinienne valeur répond aux concepts d'ordre (signaux perçus de façon ordonnée) et de sélection (signaux perçus de façon différente mais dans une même famille). Elle est exprimée par un gradient de la même teinte (saturation et/ou de luminosité).

Une fois les bornes de classes définies nous les avons utilisées pour la représentation cartographique de chaque période (figure 5a à 5d)[11].

C'est la même approche méthodologique qui a été appliquée pour la représentation des différences de densités entre deux périodes.

4 L'analyse des changements de taux de Faits archéologiques entre deux périodes

Pour estimer quantitativement les changements de répartition des vestiges d'une période à l'autre, la valeur de chaque maille pour une période donnée (n) est soustraite à la valeur de la maille pour la période suivante (n+1) (Figure 4).

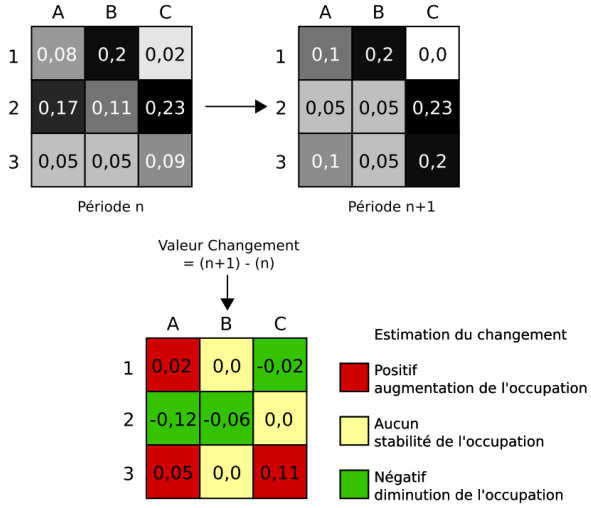


FIG. 4 : Méthode de calcul des différences de taux de faits archéologiques par maille entre deux périodes consécutives.

Dans notre cas d'étude, les valeurs obtenues pour chaque transition entre deux périodes ont également été divisées en cinq classes à l'aide de la méthode des seuils naturels que nous avons adaptés manuellement pour rendre les résultats comparables d'une carte à l'autre. La figure 5 (e à g) illustre le changement entre deux phases avec l'intervalle -33 à -3 (vert foncé), qui représente une dépréciation forte de l'indice, c'est-à-dire une baisse du taux de faits archéologiques de la période la plus récente par rapport à la période la plus ancienne, jusqu'à l'intervalle 3 à 35 (rouge foncé) indiquant, à l'inverse, une augmentation forte de l'indice.

[11] Il est à noter que les bornes supérieures de la dernière classe sont différentes à chaque période, elles sont néanmoins incluses dans l'intervalle commun 5 % à 35 % de taux de faits archéologiques par maille.

5 Principaux résultats obtenus et interprétation

L'analyse par maille de la densité des vestiges issus des diagnostics de la ZAC d'Ozans par grandes périodes puis entre deux périodes, comparées deux à deux, a permis de représenter de façon synthétique l'organisation générale des traces d'occupation humaine sur la zone d'étude soit la présence/absence d'une part et la densité quantifiable de vestiges, en dépassant la grille de lecture imposée par l'implantation des tranchées. Ceci par grande période mais aussi d'une période à l'autre.

Par exemple pour la période antique (Figure 5b), la lecture statistique du résultat met en évidence trois zones, remarquables à la fois par leur fort taux de faits archéologiques par maille et par l'assemblage de cellules contiguës ou proches :

La première zone située au sud-ouest présente un agrégat de 14 mailles avec des taux de faits archéologiques de 0,5 à 14 % qui représentent au total 30 % du taux de faits Gallo-Romain trouvés sur le diagnostic. Dans cet espace se développe une *villa* maçonnée d'une surface estimée à 1 500 m^2 avec une ou deux constructions annexes, des structures artisanales (un atelier de potier, four à chaux et un probable four de tuilier) ainsi qu'une une carrière d'extraction de calcaire. Son occupation s'étend de la fin du 1er s. av. notre ère jusqu'au 3^{e} s. de notre ère sur une surface d'environ trois hectares, soit douze mailles. La concentration importante et le noyau central de l'occupation qui se dégage du carroyage correspond à celui perçu lors du diagnostic.

L'autre concentration importante située au nord et composée de 23 mailles présente les mêmes taux élevés de faits, soit au total 52 % du taux de faits mis au jour pour la période. Elle est le reflet d'ensembles maçonnés ou sur poteaux ainsi que des structures artisanales comprises dans les mailles avec les taux les plus élevés. La relative dispersion d'autres mailles complètent cette concentration, celles à l'ouest pourraient appartenir à un autre ensemble de la même période qui se poursuivrait à l'ouest au-delà de l'emprise du diagnostic.

Enfin un petit ensemble de 4 mailles à fort taux de faits archéologique à l'ouest correspond à plusieurs faits ayant livré des collections abondantes de mobilier (céramique, monnaies, objets métalliques, etc.) dans une fourchette chronologique allant du 1er au 4^{e} s. de notre ère. La situation enclavée de cet ensemble dans l'emprise du diagnostic limite évidemment les interprétations spatiales en l'absence d'investigation aux alentours.

D'autres mailles avec des taux de faits entre 0,5 et 3 % sont dispersés dans l'emprise du diagnostic.

Pour les cartes de différences de taux de faits archéologiques entre deux périodes (Figure 5f) ont peut par exemple interpréter la carte qui concerne les périodes antiques et médiévales. Une maille ou un ensemble de mailles qui tend vers le rouge et donc vers un indice positif important permet de mettre en évidence l'importance de l'occupation à l'époque médiévale au détriment de l'Antiquité. À l'inverse plus les indices négatifs sont forts, plus les mailles tendent vers le vert foncé et représentent une dépréciation de l'occupation la plus récente au détriment de la plus ancienne.

Ainsi au sud-ouest, la *villa* antique et les établissements médiévaux plus à l'ouest se distinguent spatialement et chronologiquement puisqu'un *hiatus* chronologique de plusieurs siècles les sépare, le premier datant des environs du 3e s. de notre ère, le second datant du 11e s. de notre ère.

Les mailles à taux négatifs dispersés dans l'emprise de la zone d'étude font ressortir la présence de faits gallo-romain dispersés au-delà des noyaux d'occupation des sites antiques décrits ci-dessous, tandis qu'elles soulignent la rétraction de l'occupation médiévale exclusivement sur des zones situées l'une au nord et l'autre au sud de l'emprise du diagnostic.

Au nord, la présence de vestiges des deux périodes sur la même zone se traduit par une prédominance des valeurs négatives, ce qui montre l'importance de la densité de faits antiques par rapport aux faits médiévaux.

Si la représentation des différences de proportion de faits entre ces deux périodes est contrainte par l'inégalité des échantillons étudiés – 146 faits antiques, 74 faits médiévaux – cela est sans conséquence pour l'analyse lorsque les occupations ne se superposent pas. Néanmoins la situation est plus compliquée dans la zone Nord où certaines mailles avec un indice positif – entre 0,5 et 3 % – pourraient être directement interprétées comme la résultante d'une prépondérance locale des faits médiévaux alors qu'il s'agit d'un biais dû à l'inégalité globale (sur l'ensemble de l'emprise) des échantillons entre période. En effet, dans le cas étudié, un fait du Moyen Âge correspond à 1,3 % de la totalité des faits médiévaux alors qu'un fait antique représente moins de 0,7 % de l'échantillon étudié. La différence relative entre les deux périodes sera donc forcément avantageuse pour la représentation relative des faits médiévaux.

L'utilisation de d'analyse par mailles régulières est une méthode relativement simple et efficace qui est intéressante à mettre en œuvre dans une première étape de la réflexion. Cette démarche d'analyse spatiale exploratoire donne la possibilité de mobiliser ensuite des analyses statistiques plus avancées tel que cela a pu être fait à d'autres échelles en particulier inter-sites[12].

[12]Le lecteur est invité à consulter la publication de cette étude (Badey et Rodier 2015) pour le détail des résultats obtenus et aborder d'autres méthodes utilisées. Le support de cours sur l'analyse par maille (Badey 2017) sera également utile pour mettre en pratique une telle analyse.

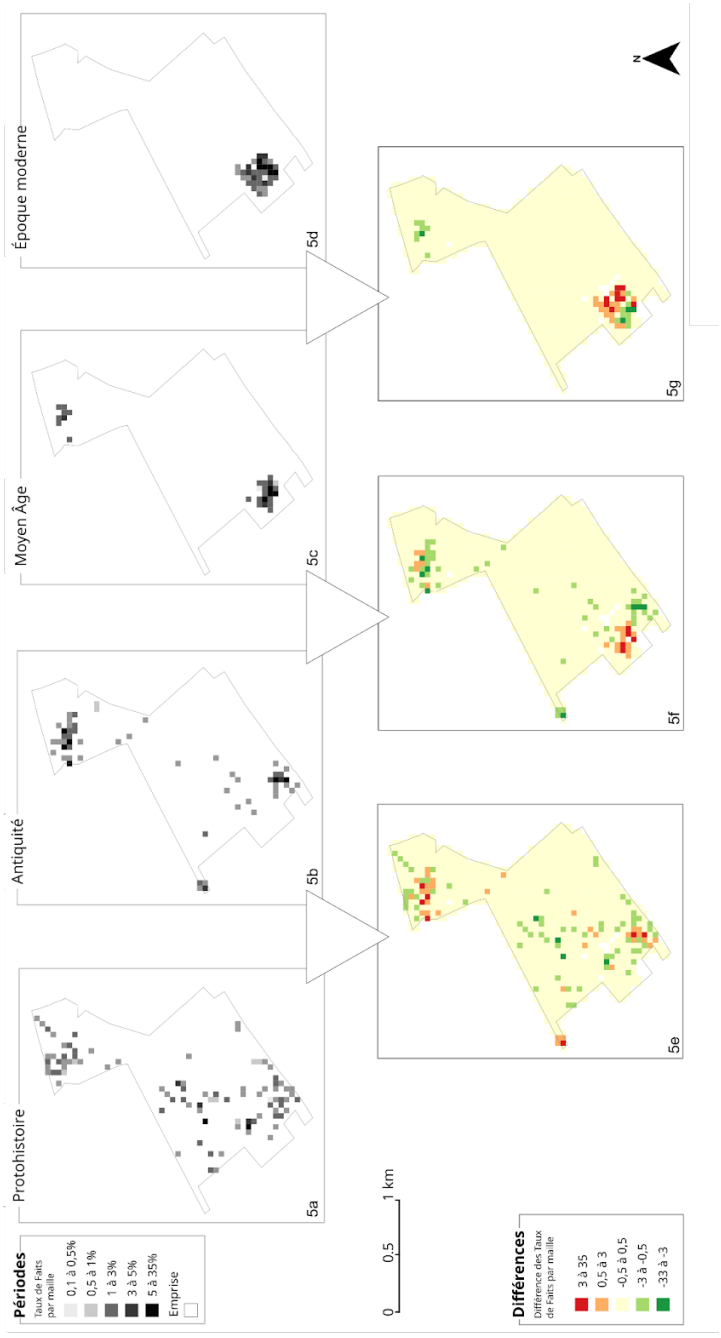


FIG. 5 : Modélisation du taux de Faits archéologiques par périodes (5a à 5d) et des différences entre deux périodes (5e à 5g) grâce à une analyse par maille.