

# STATISTIQUES SPATIALES ET MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE L'EXPLOITATION DU SOL : VARIATIONS D'ECHELLES TEMPORELLES.

Nicolas Poirier

UMR 6173 CITERES – Laboratoire Archéologie et Territoires.

## Cadre de l'étude.

Les études récentes portant sur l'évolution du paysage ont mis en évidence les variations de l'occupation du sol depuis la Préhistoire récente et le rôle croissant des sociétés humaines dans ces changements. Faisant volontiers appel aux données naturalistes dont les échelles temporelles de lecture sont au mieux de plusieurs siècles, ces travaux ont documenté les évolutions sur le temps long, mettant en lumière l'emprise croissante des espaces cultivés sur les espaces boisés.

Ce tableau général peut cependant être nuancé. La focalisation sur un laps de temps réduit peut donner à voir les oscillations de l'aménagement de l'espace qui sont souvent lissées par l'observation sur le temps long. Il s'agit de nuancer un schéma linéaire dont le pas de temps est généralement pluriséculaire.

Dans le cadre d'une recherche doctorale en cours portant précisément sur la construction de l'espace d'une microrégion berrichonne, j'ai été amené à expérimenter ces changements d'échelle temporelle en confrontant deux schémas évolutifs : l'un fourni par le mobilier hors site récolté à l'occasion de prospections archéologiques au sol, l'autre établi par la confrontation de deux séries de plans dressés à un siècle d'intervalle (1723-1829).

L'objectif est de dépasser la succession des « états » restitués du paysage, à partir des données archéologiques comme des documents planimétriques, au profit d'une figuration des dynamiques en elles-mêmes.

La démarche de modélisation est ici considérée comme une étape de simplification, d'abstraction des phénomènes observés empiriquement afin de les rendre intelligibles de manière explicite. Les outils statistiques et de modélisation spatiale entrent en jeu pour la confrontation de phénomènes distincts, lisibles chacun à une échelle de temps différente.

## 1. Evolution de l'emprise des terroirs cultivés à l'échelle bimillénaire d'après les sources archéologiques.

L'espace étudié dans le cadre de cette recherche a fait l'objet de trois campagnes de prospection archéologique au sol dans le but de préciser l'évolution de l'occupation de l'espace depuis la Préhistoire récente. Environ 10 % de l'espace étudié ont été couverts par les ramassages de surface. Une quarantaine de sites archéologiques inédits a ainsi été identifiée. Les vestiges récoltés hors site documentent pour leur part l'emprise des espaces cultivés à différentes époques.

Cette interprétation repose sur le postulat que le mobilier récolté hors site est révélateur des pratiques agraires anciennes. Ce matériel serait le seul vestige des épandages de fumures réalisés pour amender les terres cultivées. Les tessons jetés avec les autres déchets domestiques sur les tas de fumiers, auraient été épandus avec les matières organiques dans les champs à amender. Les matières organiques décomposées, seuls les éléments solides des fumures subsistent. Les tessons de poterie sont donc les seuls témoins de cette pratique agraire.

### 1.1. Méthodologie de terrain

L'unité d'enregistrement et de localisation du mobilier hors site est la zone. Une zone de prospection peut comporter plusieurs petites parcelles cultivées d'un seul tenant, une unique parcelle, ou un fragment de parcelle si celle-ci est trop vaste. Le terrain est parcouru par une équipe de 4 à 8 personnes se déplaçant toutes à la même vitesse, dans l'axe des sillons, avec un espacement constant d'environ 10 mètres.

Chaque prospecteur collecte l'intégralité du mobilier archéologique présent en surface, dans son axe de parcours : tessons de poterie, fragments de terres cuites architecturales (tuile et brique), scories métallurgiques, métaux, verre, silex taillés, etc...

### 1.2. Mise en œuvre des données de prospection : analyse et statistiques spatiales.

Les tessons de poterie récoltés hors site sont répartis, à l'échelle de chaque zone prospectée, selon sept classes chronologiques : Protohistoire (le plus souvent 500 av. J.-C. – 50 av. J.C.), 1<sup>er</sup>-3<sup>e</sup> siècles, 4<sup>e</sup>-7<sup>e</sup> siècles, 8<sup>e</sup>-10<sup>e</sup> siècles, 11<sup>e</sup>-15<sup>e</sup> siècles, 16<sup>e</sup>-18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup>-20<sup>e</sup> siècles. L'amplitude de ces classes peut paraître vaste mais est étroitement liée à la précision de datation que l'on peut atteindre pour de la céramique récoltée hors contexte stratifié, qui plus est pour des périodes encore mal connues comme le haut Moyen Age.

Il est ainsi possible de calculer pour chaque zone la densité de céramique caractéristique de chaque période. On obtient donc, pour chaque phase chronologique, une image de la répartition spatiale de ce mobilier hors site.

Le premier constat formulé à la lecture des différentes cartes de densité est celui de l'hétérogénéité de la répartition spatiale des tessons. Certaines zones apparaissent plus intensément amendées que d'autres. On note également une variation temporelle de cette répartition : les mêmes zones ne présentent pas les mêmes caractéristiques de densité selon la période considérée.

J'ai donc tenté de synthétiser l'information livrée par cette répartition différentielle du mobilier hors site par l'utilisation d'indicateurs statistiques spatiaux. L'enjeu est de mettre en lumière les évolutions à l'œuvre sur les deux derniers millénaires concernant les variations quantitatives et spatiales des amendements agraires. L'objectif était également de dépasser la succession de cartes représentant autant d'états de l'occupation du sol au profit d'une représentation intelligible (une modélisation) des dynamiques spatiales à l'œuvre.

Deux indicateurs (en réalité liés entre eux) ont été retenus : le point moyen pondéré et l'ellipse de déviation standard. Ils ont été calculés grâce au logiciel libre CrimeStat 3.0. Cette application a été développée par Ned Levine dans le but de mettre à la disposition des forces de police et de justice des outils de statistiques spatiales afin d'élucider crimes et délits. Il permet de calculer, à partir d'une couche de points en entrée, un certain nombre d'indicateurs de concentration et de dispersion.

Le **point moyen pondéré** (ou **barycentre**) est calculé à partir des centroïdes des zones prospectées portant pour attributs les densités de tessons enregistrés aux différentes périodes définies. Ce barycentre, calculé pour chaque phase chronologique, correspond donc à la moyenne des coordonnées X et Y des centroïdes des zones de collecte, pondérée par la valeur de densité de tessons récoltés sur la zone pour la période considérée. Les déplacements du barycentre illustrent donc l'évolution de la localisation des espaces exploités, à l'échelle des seuls espaces couverts par la prospection, compte tenu de l'intensité de cette exploitation.

A chaque barycentre est associée une **ellipse de déviation standard**. Cette ellipse traduit de manière spatiale la variabilité de la distribution, de la même manière que l'écart type traduit la dispersion de valeurs numériques autour d'une moyenne, en tenant compte toutefois de l'anisotropie de la distribution. En effet, l'orientation de l'ellipse permet d'identifier les axes de dispersion maximale et minimale. Elle illustre la variabilité de la distribution spatiale et quantitative des centroïdes autour du barycentre. Concrètement, plus l'ellipse est grande et dilatée, plus la variabilité spatiale et quantitative des épandages est importante ; au contraire, une ellipse de petite taille et resserrée autour du point moyen témoigne de la concentration des espaces cultivés.

### *1.3. Une lecture bimillénaire de l'évolution des espaces cultivés.*

Le barycentre des épandages et l'ellipse de déviation standard associée ont été calculés pour chacune des sept phases chronologiques. La comparaison période par période de ces deux indicateurs donne à voir l'évolution de l'emprise des espaces cultivés et de l'intensité de l'exploitation.

D'autre part, la représentation simultanée des barycentres des différentes phases chronologique permet de visualiser les déplacements des espaces exploités. La mesure de la distance séparant ces points permet de mesurer l'amplitude des déplacements entre chaque pas de temps (phases de mobilité ou de stagnation) (Figure 1) de même que le calcul de l'évolution de la taille des ellipses de déviation standard favorise une estimation de l'évolution de la concentration ou de la dispersion des espaces cultivés au cours du temps.

Le pas de temps propre à l'analyse des données archéologiques livre donc une vision très lisse et linéaire de l'évolution de l'exploitation de l'espace, où des variations ne sont lisibles qu'à l'échelle pluri-séculaire. Cela est dû essentiellement à la nature de la source utilisée, la céramique, qui ne peut être datée selon une précision supérieure.

Il paraît donc utile de nuancer ce schéma en mobilisant d'autres sources permettant de détecter des évolutions à une échelle chronologique beaucoup plus fine, de l'ordre du siècle.

## 2. Mesurer l'évolution de l'exploitation de l'espace sur le temps court grâce aux données planimétriques modernes.

La seigneurie de Sancergues, située au cœur de la zone étudiée, a fait l'objet d'une description planimétrique exhaustive en 1723, à l'occasion de la confection d'un terrier, document fiscal ancêtre du cadastre. L'intégration de ces informations au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG) permet une comparaison instantanée entre le paysage du début du 18<sup>e</sup> siècle et celui décrit un siècle plus tard à l'occasion de la levée du premier cadastre (en 1829), favorisant ainsi la mesure des rythmes de transformation du paysage sur un temps court.

La comparaison de ces deux états du paysage a d'abord nécessité un découpage de la couche d'information cadastrale aux limites de la zone documentée par les plans terriers, de superficie nettement inférieure. Cette opération est rendue possible grâce aux outils de géotraitement offerts par le logiciel ArcGis 9. La couche représentant l'espace documenté par les plans terriers a donc fait office de pochoir aux limites duquel le cadastre ancien a été découpé. On obtient ainsi deux couches vectorielles de surface et d'emprise rigoureusement superposables.

### 2.1. Analyse par maille.

Une première étape de la comparaison a consisté dans la mesure de la superficie représentée par chaque type de couverture du sol (labours, prés, pâturages, forêts) pour chacun des deux états du paysage. Cela a permis de quantifier l'évolution respective de chaque type de couverture du sol, où l'on constate globalement un recul des espaces incultes, avec notamment la disparition des terres « vaines et vagues » décrites sur les plans terriers.

Il était intéressant de dépasser cette approche globale des types de couverture du sol en tentant de spatialiser et de quantifier le changement. Certes, des évolutions sont observables mais où les changements interviennent-ils ? Pour ce faire, il était impossible de réaliser une comparaison stricte parcelle par parcelle dans la mesure où les deux trames parcellaires sont différentes : le parcellaire de 1829 est plus morcelé que celui figuré sur les plans de 1723. D'autre part, il paraissait utile de produire une cartographie du phénomène en lui-même, de sa dynamique et de son intensité, et de ne pas se limiter à des comparaisons empiriques entre les deux états restitués du paysage.

J'ai donc réalisé une **analyse par mailles**, +qui permet une modélisation de l'espace selon un maillage composé de mailles géométriques régulières ou irrégulières. Cette possibilité de traitement offerte par le SIG a l'avantage de réduire la variabilité parcellaire observable sur chacune des deux couches à une grille standardisée exactement superposable pour chacun des deux états du paysage. Un carroyage régulier (carrés de 100 m de côté, soit un hectare) est créé sous SIG et appliqué à tout l'espace documenté.

L'outil permet de transférer sur chaque maille plusieurs valeurs statistiques calculées à partir d'un champ numérique de la couche d'origine. Pour chaque maille, le logiciel calcule 3 valeurs :

- le nombre d'entités que la maille intersecte, ici le nombre de parcelles
- la somme brute des valeurs des entités que la maille intersecte
- la somme pondérée par le ratio géométrique (superficie) des valeurs des entités que la maille intersecte

La réalisation de ce traitement a donc nécessité de convertir la variable qualitative « type d'occupation du sol », dont les modalités sont aussi diverses que « terres labourables », « prés », « pâturages » ou « vignes », en une variable quantitative sur laquelle pourraient être fondés les calculs statistiques par maille.

Après un codage numérique hiérarchisant les différents types d'occupation du sol (de 1 pour les espaces les moins intensément exploités à 3 pour les espaces les plus intensément exploités), on obtient pour chaque couche (terrier et cadastre) un carroyage où chaque maille a pour valeur la moyenne des codes affectés aux parcelles intersectées par la maille. On obtient ainsi un éventail de valeurs ordonnant l'espace du moins intensément exploité au plus intensément exploité.

Il s'agit bien d'une démarche de modélisation dans la mesure où l'on cherche à se soustraire à la réalité morphologique du parcellaire au profit d'une information simplifiée, abstraite, tant du point de vue sémantique (codage des types d'occupation du sol ordonnées selon une échelle de valeur déterminée) que du point de vue spatial (réduction de la variabilité morphologique des parcelles à une grille standardisée).

Dans la mesure où les deux trames sont exactement superposables, il est enfin possible de calculer une troisième grille exprimant la différence entre les deux premières. Dans cette nouvelle grille (Figure 2), la valeur

de chaque maille est égale à la soustraction de la valeur obtenue sur le plan terrier à la valeur obtenue sur le cadastre ancien.

Cette opération livre 3 types d'informations :

- elle permet de spatialiser les changements intervenus dans l'occupation du sol entre 1723 et 1829,
- elle indique le sens des évolutions : vers des espaces plus intensément exploités ou vers des espaces délaissés,
- elle favorise une estimation de l'intensité de ces changements grâce à l'éventail des valeurs obtenues.

Ici, les gammes de rouge indiquent une évolution vers plus de terres cultivées (conversions de pâturages ou de friches), tandis que les gammes de bleu désignent des espaces qui étaient cultivés et qui sont reconvertis en espaces pâturés ou boisés. Les zones de relative stabilité de l'occupation du sol sont matérialisées par les mailles jaunes. Dans ces zones, le mode d'exploitation du sol n'a que peu varié entre 1723 et 1829.

## **2.2. Quelques éléments d'interprétation.**

Cette grille laisse apparaître, sur un fond général de stabilité de l'occupation du sol, quelques zones faisant l'objet de changements radicaux : l'interprétation nécessite un retour aux données. On constate que ces zones correspondent à des secteurs où des forêts sont déboisées, où des espaces cultivés ne le sont plus.

Les zones de changement qui peuvent être identifiées associent d'ailleurs les deux phénomènes. Sur des secteurs restreints, on constate des évolutions simultanées inverses : à proximité d'une zone défrichée est planté un bois là où auparavant les terres étaient cultivées. Cela semble traduire une rotation des types d'occupation du sol, en forme de balancier entre espaces incultes et espaces cultivés, à l'échelle de zones relativement réduites.

Comment interpréter ces évolutions ? L'analyse de ces résultats est en cours, mais il semblerait que l'habitat joue un rôle particulier dans les évolutions observées. On peut en effet constater que dans certains cas, les zones de déprise des espaces exploités sont situées à proximité de points de peuplement mentionnés comme "ruinés" sur les plans terriers. Les évolutions du tissu de peuplement ne sont donc probablement pas étrangères aux changements intervenant dans les modalités d'exploitation du sol. D'autres éléments d'explication pourront être explorés pour interpréter ces évolutions, comme la qualité des sols ou la distance à l'habitat.

## **Conclusion.**

Dans l'approche des variations de l'espace exploité, il paraît donc profitable de faire varier les échelles de temps afin de saisir toute la complexité du phénomène étudié.

L'analyse des données archéologiques seules permet d'aborder les variations de la localisation (emprise et déprise) des espaces cultivés et de l'intensité des amendements agraires selon un pas de temps millénaire. A cette échelle, seules les variations de grande ampleur sont lisibles. Elles donnent l'image d'une certaine linéarité dans l'évolution de l'occupation du sol.

La focalisation de l'analyse sur un temps court grâce aux données planimétriques modernes permet de saisir les infimes soubresauts de cette évolution. A l'échelle du siècle, on constate que des secteurs sont l'objet de changements importants dans la nature de l'occupation du sol : des bois sont certes défrichés, mais dans le même temps, et souvent à proximité, des espaces cultivés sont reconvertis en pâturages et en forêts.

La mise en évidence de ces phénomènes distincts, lisibles chacun à une échelle temporelle propre, est rendue possible par la modélisation des données de base, tant du point de vue spatial (réduction de l'information à une série de barycentres ou d'ellipses de déviation) que du point de vue sémantique (codage des valeurs d'occupation du sol).

Il semble ainsi que, de même que le changement d'échelle spatiale et la focalisation sur un espace restreint permet un enrichissement de l'éventail des possibles, de même la focalisation sur un laps de temps réduit permet de nuancer le caractère linéaire des observations décrites à macro échelle chronologique.

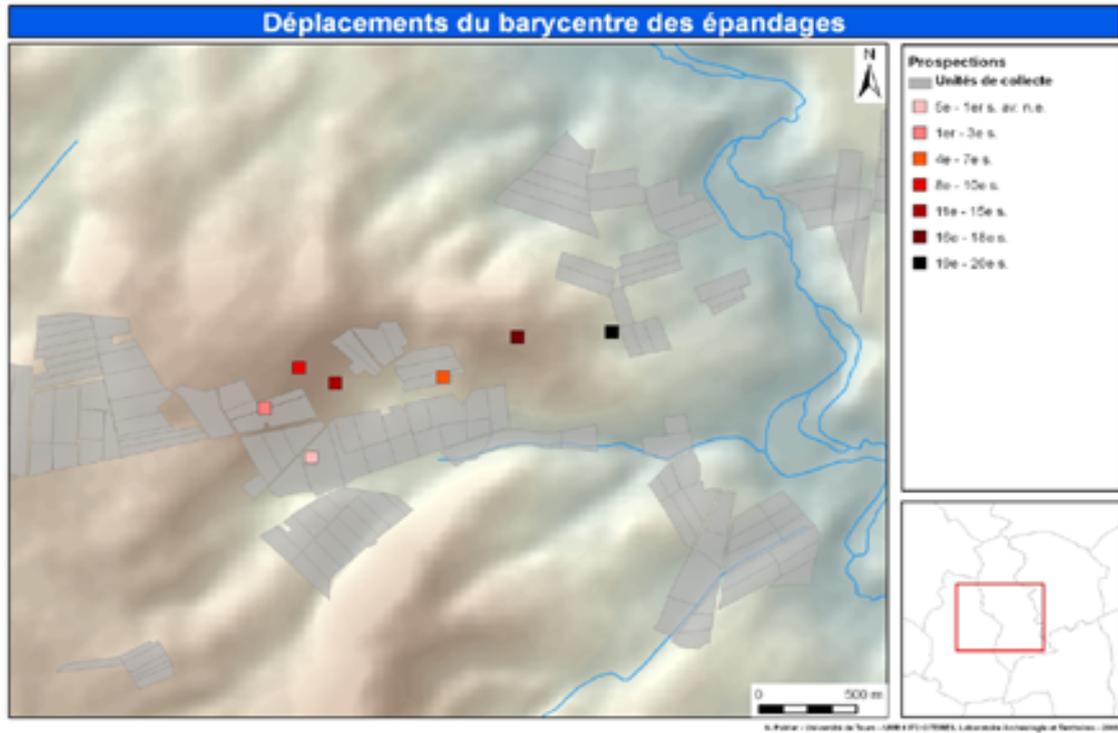


Figure 1

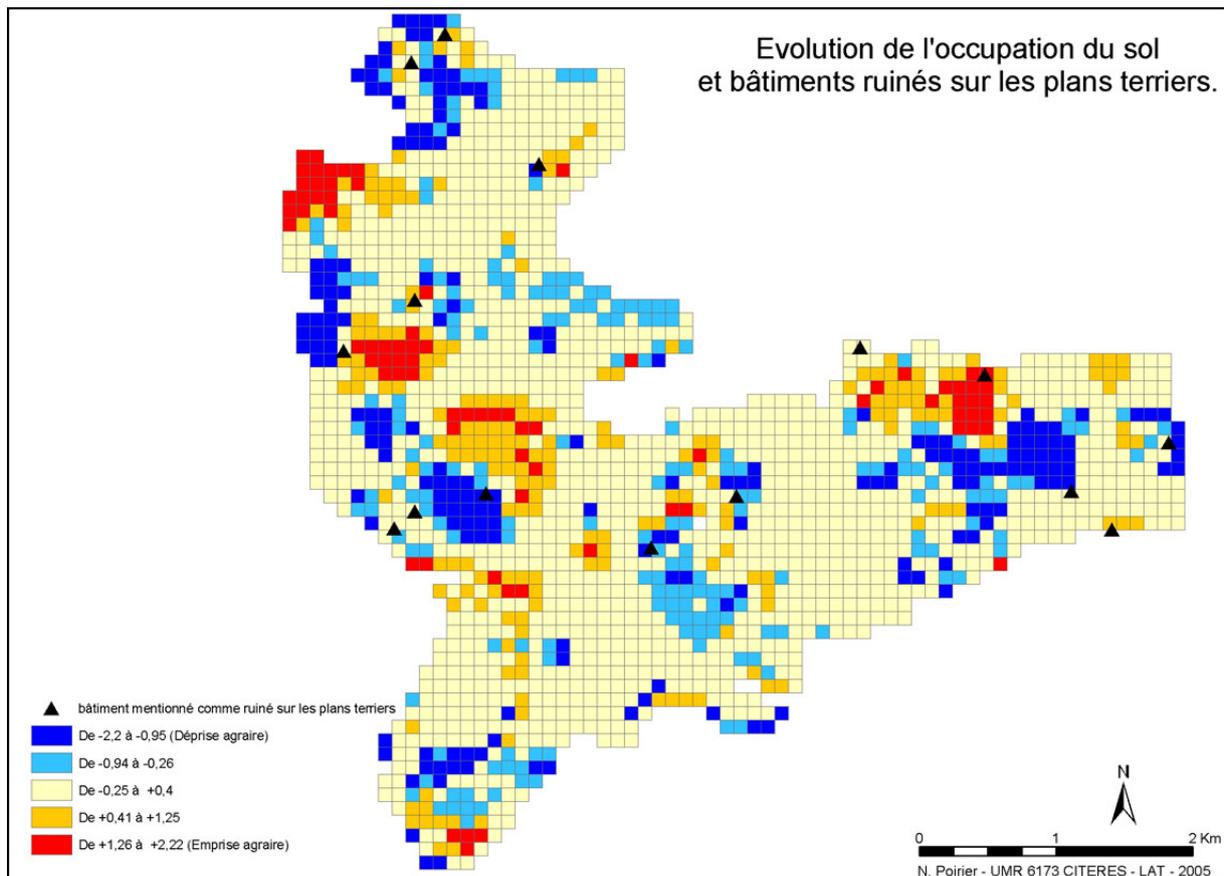


Figure 2