

Faire science avec l'incertitude¹² » pour une démarche flexible et exploratoire s'inspirant du cadre théorique et méthodologique de la géoprospective.

INTRODUCTION

Les thématiques abordées dans le chapitre précédent et les enjeux et questionnements qui en découlent, sont principalement une affaire d'espace, de temps, et d'incertitude. Ou bien faudrait-il dire d'incertitude spatio-temporelle ? D'espace-temps en contexte incertain ? Il semblerait en fait que bien plus que conjointes, ces trois dimensions soient fermement intriquées. Tenter de les saisir en les dissociant, même temporairement, ne peut ainsi sans doute que nous conduire à des démarches partielles, voire nous induire en erreur.

Si l'analyse spatiale a pour base théorique une prise en compte de l'espace comme un agent à part entière –certes dépourvu de finalité-, et non comme un simple support (Voiron-Canicio, 2006), nous postulons qu'une prise en compte efficace de l'incertitude ne doit pas maintenir celle-ci à distance uniquement sous forme de visualisation, ou n'intervenir qu'à un moment précis des études (généralement, soit en amont, soit en aval) sans que celle-ci n'ait de véritable répercussion sur les résultats. Il est pour nous fondamental de raisonner « dans » l'incertitude, en introduisant celle-ci au cœur des analyses, et ce tout au long des traitements.

En outre, Bernard Elissalde (2000) s'interrogeait : « Peut-on, en dehors de la tradition de la géographie rétrospective ou des tableaux géographiques successifs, trouver un axe de recherche permettant à la fois d'interpréter le fonctionnement des systèmes spatiaux anciens et futurs et de détecter, à travers les ruptures ou les modifications de structure, les indices d'un changement spatial dans le lieu étudié? ».

¹² Expression empruntée au projet « Faire science avec l'incertitude » initié en 2013, porté par la MSHS Sud Est en partenariat avec l'UMR 7264-CEPAM, l'UMR 7300-ESPACE et le GDR 3359-MODYS. <http://sites.unice.fr/site/paduano/mshs/?p=902>

Dans ce contexte, nous pensons qu'adapter et transférer le cadre théorique et méthodologique de la géoprospective peut s'avérer utile dans la recherche des structures et dynamiques spatio-temporelles des systèmes de peuplement passés. Nous souhaitons ici établir une passerelle entre les deux disciplines (archéologie et géographie au sens large et plus précisément, archéologie spatiale et géoprospective) en postulant que celles-ci peuvent se nourrir mutuellement. Ce chapitre développera donc en quoi les problématiques et les écueils rencontrés en géoprospective et les solutions théoriques et méthodologiques développées pour les résoudre peuvent se rapprocher et s'adapter aux problématiques d'archéologie auxquelles nous sommes confrontés.

1. PROJETER DANS LE PASSE LE CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE LA GEOPROSPECTIVE.

1.1 L'espace, au cœur de la démarche

Champ de recherche récent et encore assez peu connu (Voiron-Canicio, 2006 ; Emsellem et al., 2012), la géoprospective est une démarche de recherche en géographie appliquée à des problématiques de prospective environnementale ou de prospective territoriale (Gourmelon et al., 2012), visant à anticiper et modéliser les systèmes spatiaux et leurs devenir possibles par une approche véritablement spatiale (Voiron-Canicio, 2006 ; Emsellem et al., 2012). Elle a pour objectif d'« anticiper l'évolution d'un système spatial en analysant sa capacité à réagir au changement, à s'adapter, céder, résister et changer le cours des processus spatiaux » (Emsellem et al., 2012). Cette perspective spatiale est ainsi directement liée à des hypothèses issues du champ théorique de l'analyse spatiale, désormais connu et de plus en plus adopté en archéologie en France depuis l'expérience Archaeomedes (Archaeomedes, 1998), donnant naissance à une nouvelle branche de l'archéologie appelée « archéologie spatiale » (Robert, 2012 ; Favory et al., 2012)

Nous nous inscrivons totalement dans ce champ théorique, considérant que « l'espace géographique ne se réduit pas à un simple support de localisation, c'est-à-dire à un environnement dans lequel se localisent les faits géographiques, mais il agit comme une contrainte et comme un paramètre explicatif de la transformation des territoires » (Gourmelon et al., 2012). Ainsi, notre démarche repose sur trois postulats de base empruntés à Christine Voiron-Canicio (2012) :

« 1) L'espace géographique, produit par la société, n'est pas seulement un support, c'est un agent à part entière, certes différent des agents socio-économiques car dépourvu de finalité et d'intentionnalité, mais qui ordonne l'action de ces derniers.

2) L'espace géographique possède la propriété d'être à la fois organisé et organisant. L'organisation spatiale exerce des contraintes sur les évolutions futures du système spatial.

3) Tout système spatial possède un héritage spatial qui exerce des contraintes sur les projets d'une société mais qui est aussi un potentiel que les agents socio-économiques réévaluent continuellement ».

1.2 Retracer le passé et anticiper l'avenir : des incertitudes à rapprocher ?

L'incertitude fait partie intégrante de la démarche géoprospective. En effet, « dans toute démarche prospective, l'incertitude renvoie à l'impossibilité de deviner le futur, à tout ce qui est difficilement appréhendé par l'esprit, ce qui ne relève pas de règles déterministes, ce qui intègre une part d'aléatoire » (Basse, 2010). On pourrait même prolonger ce raisonnement en affirmant que la géoprospective trouve toute sa raison d'être au cœur même de l'incertitude associée aux événements à venir et à leur évolution : cette discipline constitue une conséquence de la prise de conscience de nos sociétés contemporaines de leur vulnérabilité, des risques et de l'incertitude qui les guettent (Houet et Gourmelon, 2014)... Tout comme l'archéologie trouve sa raison d'être dans l'incertitude associée à notre ignorance du passé lointain, et dans la volonté de reconstruire des structures et des processus spatiaux révolus ! Cette incertitude fondamentale est reconnue et intégrée en géoprospective au cœur de ses analyses depuis ses débuts, en utilisant par exemple un paramètre stochastique dans les variables d'entrée de modélisation, afin de « réduire la contrainte de détermination du passé sur le futur » (Basse, 2010).

Ainsi, si les changements probables, attendus et prévisibles sont généralement les mieux appréhendés, leur recherche bénéficiant de « la connaissance provenant d'expériences passées, menées sur des terrains divers, et de règles spatiales validées par des analyses rétrospectives » (Voiron-Canicio, 2012), un des enjeux les plus cruciaux de la géoprospective consiste à anticiper le futur spatio-temporel dans toute son imprévisibilité, son incertitude et son instabilité. Ce qui requiert par exemple « d'agrèger des informations fragmentaires, rares et dont la fiabilité est variable, de recourir aux représentations des acteurs, de synthétiser les opinions d'experts dont les dires peuvent être contradictoires » (Voiron-Canicio, 2012), d'élaborer « de nouveaux protocoles d'analyse spatiale intégrant des connaissances observées et perçues, de fiabilité variable, et combinant des informations multidimensionnelles et multiscalaires » (Voiron-Canicio, 2012), et par conséquent de faire preuve d'innovation et de créativité au niveau notamment des démarches, des méthodes et des outils (Godet, 1986 ; Houet, Gourmelon, 2014).

On peut rapprocher ces besoins de ceux que l'on observe aujourd'hui en archéologie en termes de nouveauté, afin de s'écarter – temporairement ou non – des schémas de raisonnement habituels, des carcans et des modèles et hypothèses consensuels, et d'aborder ces problématiques sous un angle différent. Le but n'est ainsi pas de réfuter ou critiquer tout ce qui a été réalisé auparavant, mais de mettre en lumière, par des méthodologies et des points de vue nouveaux, des aspects différents des structures et des dynamiques spatio-temporelles différents de ceux que l'on peut généralement s'attendre à trouver.

1.3 Des « futurs possibles » aux « passés possibles »

Denise Pumain, en se demandant si « la géographie saurait-elle inventer le futur ? » (1998), appela à « l'exploration d'une diversité des futurs possibles », c'est-à-dire à élaborer une théorie évolutive des entités spatiales permettant d'étudier « de façon nomothétique le changement des structures géographiques » en s'intéressant aux processus qui font « advenir et devenir l'espace géographique » tout en réfutant les rigidités réduisant le futur à un simple prolongement des tendances du présent (Pumain, 1998). C'est le propos de la géoprospective, qui a pour objectif de « prévoir les devenirs possibles d'un espace, les impacts spatiaux de processus globaux ou locaux, les conséquences spatiales d'options d'aménagement, et de produire des outils d'aide à la décision qui soient spatialisés » (Voiron-Canicio, 2012). Les résultats produits se déclinent ainsi sous forme de divers scénarios dont les paramètres varient en fonction des conditions initiales du modèle, ou de l'hypothèse que l'on souhaite tester ou présenter.

Pour ce faire, la géoprospective s'appuie sur une démarche rétrospective : « Le postulat qui soutient les démarches d'anticipation est que le futur est contenu dans le passé « le présent est gros de l'avenir, le futur se pourrait lire dans le passé... » (Leibniz, 1714) mais avec une certaine marge d'imprévisibilité attribuée généralement au hasard » (Voiron-Canicio, 2012). Il s'agit ainsi de détecter les grandes tendances d'évolution du système ayant une forte probabilité de se maintenir, mais également les signaux faibles pouvant être porteurs de changement, afin d'évaluer les trajectoires de l'espace parmi un ensemble d'états possibles. Ainsi, le rythme, la stabilité ou des bifurcations dans la trajectoire du système sont analysés de manière rétrospective afin de retracer une trajectoire passée, sur la base de laquelle on peut anticiper, imaginer une trajectoire future de développement d'un territoire. La notion de trajectoire mobilisée peut donc s'apparenter à celle décrite sur la Figure 4.

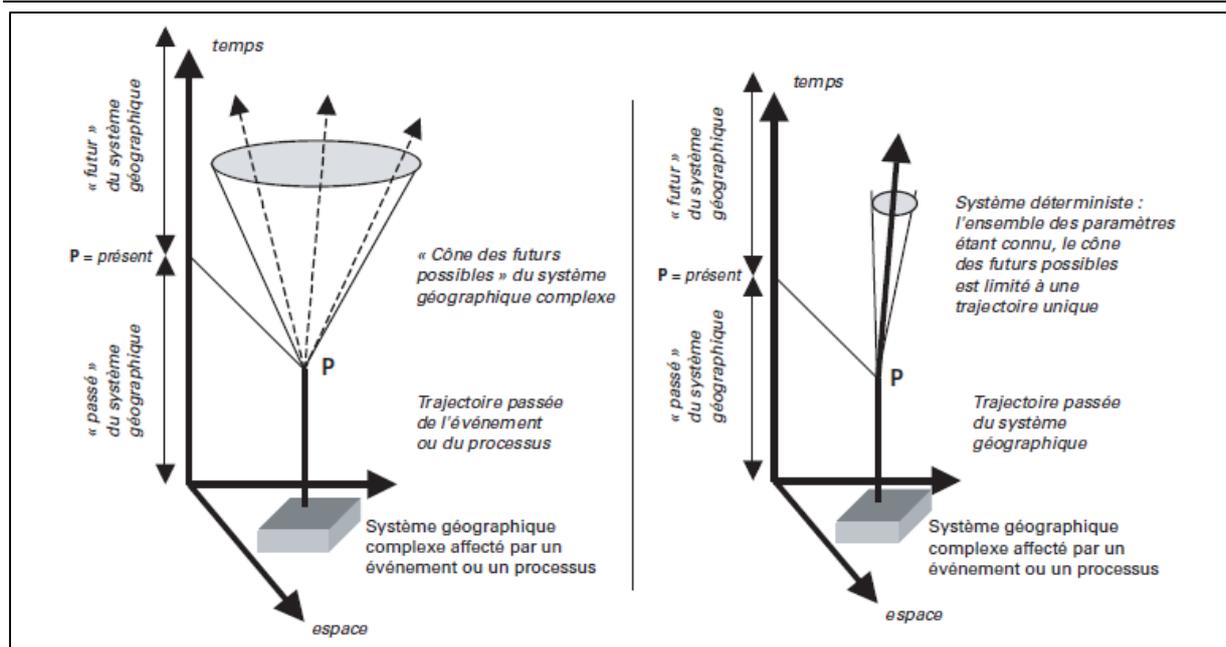


Figure 4 - Concepts de « cône des futurs possibles » du système géographique complexe (à gauche) et de trajectoire « limitée » du système géographique complexe (à droite) (Rolland-May, 2003)

On peut ici voir en quoi l'archéologie et la géoprospective peuvent s'enrichir mutuellement. Nous proposons de nous appuyer sur la définition de la « trajectoire d'un système géographique complexe » décrite par Christiane Rolland-May (2003) et sur l'expression de l'incertitude associée aux résultats des études de géoprospective, pour traduire les résultats des analyses spatio-temporelles en archéologie en divers scénarios des « passés possibles ». Ainsi, comme l'énonce Denise Pumain (1998), « On fait l'hypothèse que les objets géographiques, dans certains aspects au moins, représentent des réalisations particulières, parmi un univers de réalisations possibles, de processus dynamiques généraux ». Si la géoprospective se propose d'anticiper cet « univers de réalisations possibles », notre objectif est ici de retracer ces diverses possibilités dans le passé.

En outre, nous proposons de remettre en question l'optique limitée et linéaire de la « trajectoire passée » de l'événement ou du processus présenté sur la figure précédente, et de ne pas limiter la prise en compte de l'incertitude en géoprospective aux événements à venir, mais aussi dans sa phase de rétrospective. Ainsi, favoriser une prise en compte plus profonde et systématique de l'incertitude dans le passé permettrait de déployer un « cône des passés possibles » du système géographique, pouvant rétroagir sur les « futurs possibles » de la trajectoire. Nous raisonnons ici bien évidemment en termes de transferts possibles d'outils et de méthodes avec les adaptations que cela nécessite, la géoprospective ne s'appuyant pas sur des données archéologiques dans sa démarche rétrospective, mais s'inspirant d'époques bien plus contemporaines. Cet état d'esprit est

exprimé par Bevan et al. (2013): « Instead of ignoring this uncertainty and producing a single, but misleading, spatial analysis, we can generate different possible spatial patterns based on these temporal probabilities and then obtain a distribution of the more and less likely results ».

Nous souscrivons ainsi au cinquième principe énoncé par Arnaud Banos (2013) dans son Habilitation à Diriger des Recherches pour « libérer les pratiques de modélisation en géographie et en SHS » : « Les modèles de systèmes complexes se caractérisent par l'existence de solutions multiples, dont aucune n'est en général meilleure que les autres, si on s'en tient aux seuls principes ayant présidé à la construction du modèle. L'enjeu est alors d'identifier, par la simulation, un ensemble de solutions présentant une certaine optimalité par rapport aux objectifs définis ». Et si, selon Charles-Pierre Péguy, « il n'y a pas de système, pas de logique, pas de processus géographiques concevables qui n'incluent une dimension temporelle. Un avant ou des après » (1996), nous proposons d'adopter une logique impliquant plutôt *des* avant et *des* après.

2. AU CROISEMENT DE LA DIMENSION SPATIALE ET DE L'INCERTITUDE : UNE DEMARCHE EXPERIMENTALE ET EXPLORATOIRE

2.1 Rester ouvert à l'émergence : l'Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA)

On peut, à partir des considérations précédentes, affirmer qu'« il ne s'agit plus simplement de représenter le monde mais également de mieux faire émerger des phénomènes non directement visibles ou mal perçus et de mieux réfléchir aux structures spatiales qui s'y organisent » (Antoni et al., 2004).

La démarche exploratoire qui est au cœur de la géoprospective constitue selon nous une approche très appropriée aux questionnements archéologiques qui nous occupent, et peut constituer une réponse originale au fixisme des modèles, et au conditionnement des analyses par des hypothèses fortes et préconçues. Nous rejoignons en cela la philosophie de la Grounded Theory qui consiste à « rechercher des points de vue inédits par l'exploration de l'objet d'étude, sans postulat sous-tendant d'analyse ni idée préconçue mais en étant « à l'écoute » des données, dans une posture d'ouverture à l'émergence » (Strauss, Corbin, 1998 ; Glaser, 2012). Ainsi, l'analyste doit certes avoir un objectif lui permettant d'interpréter « les signes qui jalonnent son itinéraire », mais également être « ouvert à toute autre possibilité : obsédé par ce qu'il s'attend à trouver – et dont il ne peut avoir qu'une idée très vague, puisqu'il explore – il risque fort de passer à côté de merveilles qu'il n'attendait pas » (Banos, 2001). La démarche exploratoire renvoie ainsi à la « capacité du scientifique à se mettre en position d'étonnement, à se laisser guider par la

recherche de l'inattendu et plus généralement à laisser libre cours à sa créativité » (Banos, 2013), et ainsi, selon Marcel Roncayolo, à « réussir » à ne pas savoir ce qu'il cherche ! » (Roncayolo, Chesneau, 2011).

Cette démarche favorise l'esprit de l'expérimentation, que Daniel S. Milo (1992) définit comme le fait de « laisser une grande liberté à l'*arbitraire* du chercheur –et que les résultats tranchent. Un état d'esprit expérimental signifie qu'on « ne se laisse pas intimider » par la réalité étudiée, qu'on ne cherche pas à tout prix à motiver réalistiquement les questions qu'on lui pose ».

Nous nous inscrivons ainsi dans la philosophie et les techniques de l'Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) (Anselin, 1994), définie par Luc Anselin (1999) comme : « the collection of techniques to describe and visualise spatial distributions, identify atypical locations (spatial outliers), discover patterns of spatial association (spatial clusters), and suggest different spatial regimes and other forms of spatial instability or spatial non-stationarity ». Dans le même article, l'auteur propose un large état de l'art concernant les applications de l'Exploratory Data Analysis (EDA) et de l'ESDA. Ce champ de recherche est particulièrement intéressant dans la manipulation de bases de données archéologiques en ce qu'il aide à prendre en compte et à modéliser la complexité, notamment si la réalité que l'on interroge est décrite par un grand nombre de données (Antoni et al., 2004). L'EDA et l'ESDA sont ainsi « une démarche, voire une philosophie, d'analyse des données qui utilise de nombreuses techniques (dont la plupart sont graphiques) de manière à maximiser la prise en compte de ces données, découvrir leur structure sous-jacente, extraire les variables importantes, mettre en lumière leurs anomalies, tester des hypothèses, etc. » (Antoni et al., 2004).

2.2 Tirer parti de la diversité, plutôt que niveler par le bas

Daniel S. Milo (1991) évoque une attitude classique vis-à-vis des données –dans son cas, temporelles-, consistant à leur imposer de « rentrer dans le moule », faute de quoi on les élimine purement et simplement des analyses : « Simple outil de travail, la période finit par nous être extrêmement précieuse- car elle produit de la cohérence. Trop. Ses usagers (...) sont constamment confrontés aux trop nombreuses données qui échappent à la cohérence de la tranche de temps par eux isolée. Pour la sauver, on utilise toute une gamme de techniques qui ont pour but soit d'intégrer ces brebis égarées coûte que coûte, soit carrément de les éliminer ».

Faire parler les données permet à la fois de leur redonner tout leur sens et leur substance, et de s'intéresser à toutes leurs dimensions (notamment en termes de précision et de fiabilité) mais aussi de prendre toute la distance nécessaire vis-à-vis des structures qu'elles expriment et que l'on

détecte, en étant attentif non seulement aux grandes structures, que l'on s'attendait (ou non) à trouver, mais également aux signaux faibles, aux structures et aux changements « inattendus, extraordinaires, voire contreintuitifs, au regard des valeurs des variables modélisées – accélération-ralentissement d'une dynamique – ou de la morphologie spatiale – apparition-disparition d'une structure » (Voiron-Canicio, 2012). Cela suppose en amont de ne pas tenter de lisser ou d'homogénéiser à outrance les données, mais d'intégrer toute leur diversité dans les analyses. Cet état d'esprit peut se rapprocher de ce qu'Edgar Morin (1986) et Claude Lévi-Strauss (1962) appellent le « bricolage » et dont ils soulignent l'importance, consistant, selon ce dernier, à « élaborer des ensembles structurés, non pas directement avec d'autres ensembles structurés, mais en utilisant des résidus et des débris d'événements [...], témoins fossiles de l'histoire d'un individu ou d'une société ».

Cette attitude implique également de conserver toute la donnée disponible, et de s'affranchir de la logique binaire d'une conservation de la donnée estimée comme « fiable », et de l'élimination de la donnée « non fiable », que l'on estime contre-productive : en plus de nous faire perdre de la donnée, celle-ci pourrait pousser l'analyste à surestimer la qualité et la certitude de ses données considérées comme fiables, et à se penser à l'abri d'une estimation de l'incertitude de ses analyses. Nous pensons qu'attribuer des poids différents à ses données reflétant la qualité de celles-ci, et les intégrer directement dans les analyses et les modèles, serait une option bien plus pertinente et porteuse.

2.3 « Déconstruire les représentations que véhiculent les catégories » (Roncayolo, Chesneau, 2011) pour une étude du changement spatial.

Nous avons vu dans le premier chapitre qu'une source majeure d'incertitude mais aussi de conditionnement des études en archéologie résidait dans la manipulation des échelles spatio-temporelles.

Dans le cadre d'une analyse exploratoire, il convient de préciser que le choix des échelles n'est pas anodin : il « suppose l'existence d'un point de vue, d'une intention et d'autre part, d'un référent. (...) Il est donc par définition, hypothèse » (Roncayolo, Chesneau, 2011). En outre, le même auteur suggère une distinction entre échelles d'analyse et niveaux d'organisation du territoire, des « rigidités qui relèvent en partie du droit », qui « figent plus ou moins la réalité », et sont une « construction acquise, d'origine sociale et historique » (Roncayolo, Chesneau, 2011). Cette discussion sur les échelles spatiales rejoint en quelque sorte celle sur la périodisation en histoire et en archéologie (cf. chapitre 1). Bien que les structures spatiales des sociétés étudiées ne relèvent

pas des niveaux d'organisation administratifs tels qu'on les expérimente aujourd'hui, il convient de garder à l'esprit que l'expérience de terrain menée par les missions archéologiques ayant recueilli les données, en dépend quant à elle fortement. Ainsi, celles-ci peuvent agir comme un paramètre explicatif de la répartition des données, et donc des structures spatio-temporelles détectées.

Ainsi, Marcel Roncayolo nous avertit : « Si vous vous cantonnez dans des échelles habituelles ou des niveaux définis institutionnellement, vous risquez de prédéterminer votre étude, de passer à côté de véritables problèmes » (Roncayolo, Chesneau, 2011). Celui-ci préconise, par le zoom et la perspective, qui favorisent la découverte de par leur nature heuristique, de « circuler entre les échelles et pouvoir choisir, tout bien considéré, non pas les représentations habituées, mais celles qui permettent de répondre à la thématique ou même de la corriger ou de l'inspirer » (Roncayolo, Chesneau, 2011). Ce serait donc en déconstruisant les échelles et les catégories habituelles, que l'on construit l'objet d'étude.

Car les catégories auxquelles nous sommes confrontés ne relèvent pas que d'une analyse à un temps t (ou à une succession de temps t). Il s'agit de comprendre la musicalité, c'est-à-dire les rythmes, les « tempos », des systèmes spatio-temporels : « À ces rythmes intégrés aux phénomènes ou aux usages sont associées des périodicités variées, entrecoupées de rupture, que l'on ne peut observer toutes à la même échelle. Autrement dit, la complexité (...) dérive de temporalités fort différentes, le rythme fait partie des choses, il n'est pas un découpage historique que l'on impose : il faut bien se résoudre à abandonner dans la chronologie – un simulacre de cohérence –, qui octroie le même rythme à toute chose ». Ainsi, « Il convient plutôt d'étudier les phénomènes, sur le plan temporel, à des échelles correspondant à leur nature. Simultanéité et synchronie ne vont pas nécessairement de pair » (Roncayolo, Chesneau, 2011).

On comprend que les catégories spatiales et temporelles, aussi bien que les échelles, sont en général postulées (explicitement ou implicitement) et posées comme des *moyens pour* tenter de comprendre l'organisation et l'évolution d'un système de peuplement passé, et donc des préalables à l'analyse spatiale. Nous proposons d'adopter la démarche inverse, et postulons que c'est *par* l'exploration et l'expérimentation des structures spatiales à l'aide de méthodes flexibles et exploratoires d'analyse spatiale, que les échelles auxquelles s'expriment les phénomènes spatio-temporels peuvent être détectées. Loin de n'être qu'une démarche de vérification, l'analyse spatiale exploratoire relève d'un véritable cheminement de découverte. La datation, l'analyse spatiale et la production de chronologie doivent, pour nous, s'inscrire dans une dialectique, où pas à pas, chacune enrichit et permet d'ajuster l'autre. Nous partageons donc le point de vue de

Bernard Elissalde (2000): « En opposition avec la conception linéaire et cumulative du temps dans la géographie classique, l'approche par l'analyse spatiale et les systèmes spatiaux propose de prendre en compte les temporalités multiples et discontinues qui animent l'espace géographique. Ce sont les durées variables des structures spatiales, les événements spatiaux, les phases de transition territoriale et les phénomènes de résilience qui contribuent au changement spatial ». Nous retrouvons en cela l'état d'esprit propre à la Grounded Theory: « The rule is to let these areas emerge. Discover them. The researcher cannot preconceive what he will discover by staying open to the emergent » (Glaser, 2012).

Diverses méthodes et techniques sont pertinentes et suffisamment flexibles pour mener à bien cette démarche exploratoire en respectant les deux règles énoncées, et peuvent - doivent - être combinées, testées, comparées, afin de multiplier les points de vue et révéler des aspects divers des structures spatiales détectées, et les remettre en question.

2.4 Un chaînage de méthodes et de techniques

« When researching the future, no one method is appropriate in isolation » affirme Eddie Blass (2003). La démarche exploratoire, notamment très employée en géoprospective, requiert et permet par sa flexibilité « le chaînage des étapes et des méthodes, où chacune nourrit la suivante, et une prise en compte de l'espace à toutes les phases de la démarche (diagnostic, modélisation, simulation, et présentation des résultats) » (Emsellem et al., 2012). Nous postulons que la recherche du passé peut s'enrichir de ce contexte scientifique de liberté dans les méthodes, les points de vue, et que c'est en « décomplexant » les approches (Banos, 2013) que l'expérimentation, la créativité, et donc, l'innovation, peuvent véritablement s'exprimer.

L'analyse spatiale réalisée dans une démarche exploratoire est sous-tendue par deux règles de base: « ce qui compte n'est pas tant le changement observé en un lieu que la manière dont il diffère des changements observés sur les lieux voisins ; ce n'est pas l'événement qui importe mais la manière dont le système spatial réagit ou est susceptible de réagir à cet événement » (Voiron-Canicio, 2012).

Diverses méthodes –s'appuyant sur des socles théoriques variés- répondant à ce besoin de flexibilité et à ces règles seront sollicitées dans cette thèse, dont l'analyse d'images par morphologie mathématique, les géostatistiques et les statistiques spatiales, et les mathématiques associées à la théorie des possibilités et à la logique floue.

2.4.1 Les géostatistiques et les statistiques spatiales: une prise en compte de la singularité et de la discontinuité

Alors que les statistiques sont employées depuis fort longtemps en archéologie pour analyser les distributions de phénomènes et d'objets, nous pensons cette approche peu pertinente pour la détection des structures spatiales, dans la mesure où elle repose sur le postulat de base d'indépendance (Dauphiné, Voiron-Canicio, 1988). En effet, afin de prendre en compte la variation spatio-temporelle des phénomènes passés matérialisés par les données archéologiques, il est nécessaire d'employer un ensemble d'outils prenant en compte la non-indépendance spatio-temporelle des données géographiques et archéologiques, dont les géostatistiques fondées sur la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965)—et la morphologie mathématique— font partie. La Théorie des variables régionalisées, fondée par G. Matheron en 1965, propose une démarche d'analyse dédiée aux phénomènes qui varient à travers l'espace de manière partiellement structurée, partiellement chaotique ; « une variable régionalisée est une fonction de l'espace dont la valeur varie d'un lieu à un autre avec une certaine apparence de continuité sans qu'il soit en général possible d'en représenter la variation par une loi extrapolable » (Matheron, 1965).

En outre, les singularités et les discontinuités que l'on recherche se manifestent concrètement dans les données par « un changement notable de valeur par rapport aux valeurs du voisinage. Or, cette démarcation vis-à-vis du voisinage, qui se mesure à partir d'écarts et de gradients, dépend grandement des méthodes et des techniques utilisées pour analyser les variations d'un phénomène à travers le temps et l'espace » (Voiron-Canicio, 2012). Alors que les statistiques classiques considèrent l'irrégularité spatio-temporelle comme du bruit, au profit du calcul de la tendance (Voiron-Canicio, 2012) les géostatistiques « considèrent que les irrégularités spatiales ne sont pas du bruit mais des caractéristiques du phénomène, ayant leur propre structure à une certaine échelle, et que derrière les fluctuations d'apparence aléatoire existe une structure qui peut être la tendance ou tout autre chose (Dauphiné, Voiron-Canicio, 1988) » (Voiron-Canicio, 2012). Les méthodes de géostatistique s'inscrivent pleinement dans l'ESDA (Anselin, 1999).

Peu d'application des géostatistiques ont été réalisées en archéologie. D'après Lloyd et Atkinson (2004), le krigeage est la méthode la plus exploitée, notamment dans le domaine de l'archéologie prédictive. Markovsky et Bevan (2011) ont quant à eux appliqué ces méthodes pour la recherche de l'autocorrélation spatiale directionnelle dans les distributions de surface des artefacts archéologiques. Dans le domaine de la géographie, ces méthodes ont été mobilisées pour caractériser la dépendance spatiale dans le domaine de l'exploitation des minerais (Samal et al.,

2011) ou encore pour définir et prédire le phénomène de diffusion urbaine (Dauphiné, Voiron-Canicio, 1988 ; Lajoie, Mathian, 1989).

Les méthodes de géostatistique permettent à l'analyste de révéler la distribution spatiale d'un phénomène. La variographie, qui s'inscrit dans cet ensemble de méthodes, sera employée pour son aptitude à décrire la structure moyenne des phénomènes étudiés, leur déploiement et leur co-variation à travers l'espace. Celle-ci s'avère être un puissant outil de détection des structures spatiales, c'est-à-dire des relations invisibles qui existent entre les éléments spatiaux visibles, et de description de « tous les phénomènes qui varient à travers l'espace, de manière partiellement chaotique, partiellement structurée » (Dauphiné, Voiron-Canicio, 1988). Le variogramme « permet de savoir dans quelle mesure ce qui se passe en un point ressemble ou non, en moyenne, à ce qui se passe dans son entourage distant de h ; il mathématise la notion d'influence d'un échantillon : si l'influence d'un point sur son voisinage décroît très rapidement quand on s'éloigne de ce point, la croissance du variogramme à l'origine est très rapide » (Guillaume, 1977).

La variographie sera également privilégiée pour son aptitude à détecter les emboîtements de structures, et donc par extension, les différentes échelles auxquelles s'expriment les phénomènes spatiaux : « Les tailles de structures existant en moyenne dans le champ d'étude sont décelées par le variogramme et rangées de la plus petite à la plus grande. Calculé à des dates différentes, le variogramme multidimensionnel indique comment les structures spatiales ont évolué au cours du temps, s'il y a eu accentuation ou atténuation des contrastes locaux et, si c'est le cas, à quelle date, avec quelle intensité et dans quelle direction » (Voiron-Canicio, 1992).

Mais la géostatistique ne constitue pas une fin en soi : afin d'être pertinente, celle-ci doit être intégrée à une chaîne de traitements mobilisant divers outils, et permettant de mettre en évidence divers aspects de l'espace analysé.

2.4.2 Aborder les phénomènes par la forme : l'analyse d'images par morphologie mathématique

« Si le milieu quel qu'il soit est anisotrope, cela signifie qu'il est peuplé de limites, de discontinuités dont certaines peuvent souligner la cohérence de formes. L'intelligence de l'espace c'est donc aussi une connaissance des morphologies développées sur ou dans cet espace » (Martin, 2004). Une des entrées de notre démarche d'analyse spatiale exploratoire sera donc celle de la forme, afin d'identifier les continuités et discontinuités spatio-temporelles passées. Notre perception des formes et de leur dynamique suit celle énoncée par Sandrine Robert (2003) : « la

transmission des formes ne doit plus être appréhendée comme une transmission linéaire dans le temps et dans l'espace mais comme le résultat de processus mettant en œuvre différentes échelles et différents réseaux. La transmission des formes ne s'explique plus par la fixation, une fois pour toutes, d'un élément matériel, mais par son incessant renouvellement au sein d'un jeu complexe de réinterprétations ». L'enjeu consiste donc à détecter et faire varier diverses échelles afin de percevoir les formes et leurs dynamiques spatio-temporelles, et tenter d'identifier la nature des processus – c'est-à-dire les forces - sous-jacents qui les génèrent (Voiron-Canicio, 2012).

Ainsi, un des chemins d'étude que l'on peut emprunter consiste à partir du visible - la forme - pour aborder l'invisible, le caché. Cette opportunité nous est offerte par l'analyse d'images par morphologie mathématique.

La morphologie mathématique fut créée au cours des années 1960 à l'Ecole des Mines de Paris à Fontainebleau par Georges Matheron (Matheron, 1967) et Jean Serra (Serra, 1982). Cette méthode d'analyse d'images binaires ou en niveaux de gris, à la fois théorie et boîte à outils (Voiron-Canicio, 2009), considère celles-ci comme un ensemble de pixels. La morphologie mathématique va ainsi rechercher l'information géographique dans l'arrangement des pixels entre eux par l'intermédiaire d'un élément structurant ou sonde dont la taille détermine l'étendue du voisinage, afin de percevoir les formes et les structures de l'image les plus significatives, et « rattacher une forme visible à des propriétés générales, ou aux processus qui lui ont donné naissance » (Voiron-Canicio, 1995). Ainsi, l'image par elle-même n'exprime aucune structure, mais la structure découle des relations des différents points entre eux ; en effet, la valeur du pixel en lui-même a moins d'importance que les relations qu'il entretient avec son voisinage (Voiron-Canicio, 2009). C'est le chercheur qui, par le choix de l'élément structurant et des différentes opérations à effectuer sur l'image, va informer celle-ci et révéler un aspect structurel de l'image, et des structures invisibles (Haralick et al., 1987).

2.4.3 Spécificités et avantages d'une utilisation conjointe des géostatistiques et de la morphologie mathématique en archéologie

Ces deux méthodes sont ainsi complémentaires, car la première nous permet d'obtenir une représentation moyenne et synthétique d'un phénomène, et la seconde nous donne des indications sur la forme des structures à travers l'espace, et un sens dans leur répartition spatiale.

Celles-ci présentent l'avantage d'être remarquablement puissantes dans la détection des structures spatiales, mais également extrêmement flexibles : elles peuvent en effet être abordées dans une

optique totalement exploratoire, en permettant d'informer l'espace sans aucun *a priori* thématique, ni modèle, ni hypothèse préalable. Il n'est donc pas ici nécessaire de postuler quoi que ce soit en amont de l'analyse ; par ces méthodes, nous ne faisons qu'informer l'image (et donc l'espace), qui peut alors nous révéler par elle-même ses structures les plus significatives, qu'il nous appartient, bien entendu, d'interpréter au fur et à mesure que les résultats nous le permettent.

En outre, appliquées à l'archéologie, ces méthodes présentent l'avantage d'ouvrir considérablement les possibilités en termes de données et d'alléger les procédures de saisie : elles permettent d'analyser n'importe quel phénomène représenté par une grille de données spatialisées, pouvant être construites à partir d'une base de données quantitative ou même à partir d'une carte (Voiron-Canicio, 1995). Elles permettent ainsi de simplifier et d'organiser une base de données riche et complexe, et de prendre en compte une information à la fois quantitative et qualitative -propriétés récurrentes dans les bases de données archéologiques (De Runz et al., 2007)- à partir d'une image ou d'une grille de points, sans perdre aucune information dans la procédure. L'intérêt d'une démarche exploratoire spatio-morphologique combinant géostatistiques et morphologie mathématique, pour résoudre une problématique archéologique a en outre fait l'objet d'un article (Fusco, 2015).

La reproductibilité du protocole méthodologique est ainsi inhérente au mode opératoire : la démarche envisagée n'est en effet qu'un point de vue sur l'espace, qui peut être appliqué à tous types de problématique, d'échelles, de civilisations. Nous n'effectuons en effet aucun choix en amont des analyses, mais laissons parler l'espace par lui-même, et nous révéler les angles de vue par lesquels il est possible de l'aborder.

2.4.4 La théorie des possibilités et les ensembles flous

La théorie des ensembles flous est selon Zadeh (1965), un pas vers le rapprochement entre le formalisme et la précision des mathématiques, et la subtile imprécision du réel. Elle permet en fait de réconcilier la constitution de classes dont la pensée humaine a besoin pour aborder les phénomènes, et la réalité, dont la complexité la rend hermétique à toute réclusion au sein de classes trop rigides et figées. En d'autres termes, la logique floue est une alternative à la logique Booléenne, qui tente d'accommoder la définition d'ensembles et le concept de vague (« *vagueness* ») inhérent au réel et surtout, à notre propre perception du réel (Fisher, 2005 ; Fisher et al., 2006).

La théorie des possibilités, qui s'appuie sur les ensembles flous, offre un cadre formel adapté à des informations pauvres reflétant une ignorance partielle, et est, selon Zadeh (1978), bien plus adaptée que la théorie des probabilités à la prise en compte et à la modélisation des décisions humaines qui sont possibilistes par nature. Cette théorie, et les méthodes qui y sont associées permettent d'allier des connaissances précises, imprécises et incertaines, d'associer des données qualitatives et quantitatives, d'agréger des données multi-sources (bases de données différentes, sources hétérogènes, dires d'expert, avis discordants...). Nous pensons que ce cadre théorique et méthodologique est fort approprié aux problématiques archéologiques, car il permet d'aborder les phénomènes sous forme de *possibles*, c'est-à-dire un cadre dans lequel l'incertitude est une propriété inhérente et quantifiée aux phénomènes modélisés grâce aux mathématiques floues que cette théorie mobilise. L'incertitude permet au final de faire progresser la connaissance et l'exploration bien plus qu'elle ne les bride.

Le cadre des *espaces flous*, très développé par Christiane Rolland-May (1984, 1987), propose quant à lui une application spatiale de la théorie des ensembles flous dans laquelle on distingue « les notions d'espaces imprécis dont on peut quantifier l'imprécision, et d'espaces incertains dont on peut quantifier l'incertitude » (Rolland-May, 1987). Ce cadre sera également repris dans une optique de régionalisation *floue* du peuplement et de ses dynamiques spatio-temporelles.

CONCLUSION : POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE

« Nous ne devons pas confondre fonctionnement d'un phénomène et compréhension de ce phénomène ». Ce rappel à l'humilité de Patrice Langlois (2010) constitue la ligne directrice de cette thèse, dont l'objectif consiste à formaliser les divers niveaux spatiaux, temporels et d'incertitude inhérents à une base de données archéologiques, et à en extraire les « possibles » en matière de compréhension des formes et des modes d'occupation du sol et de leurs dynamiques spatio-temporelles.

Notre raisonnement prend ainsi appui, tout au long de cette recherche, sur la philosophie et les méthodes aujourd'hui rassemblées sous l'appellation des « théories de la complexité » (notamment développées sous l'angle de la géographie par Dauphiné, 2003 et Pumain, 2003), concept défini par Edgar Morin (1974) comme le domaine « de la diversité organisée, de l'organisation de la diversité ».

La complexité ici recherchée ne sera pas amenée par l'intégration d'une multitude de paramètres thématiques dans la compréhension des modes d'occupation du sol, mais par le développement

d'une chaîne de raisonnement exploratoire allant de la description d'une base de données archéologique, des biais et des incertitudes qu'elle comporte et des niveaux spatio-temporels qu'elle met en exergue, jusqu'à la modélisation d'une partie des phénomènes qu'elle renseigne selon ces divers niveaux spatio-temporels et d'incertitude. La complexité est donc ici relative à la diversité d'échelle spatiale et temporelle, des niveaux d'organisation et de l'incertitude liée à la fois aux données et à notre propre démarche modélisatrice. La Figure 5 synthétise notre démarche, et issue des considérations de ces deux premiers chapitres.

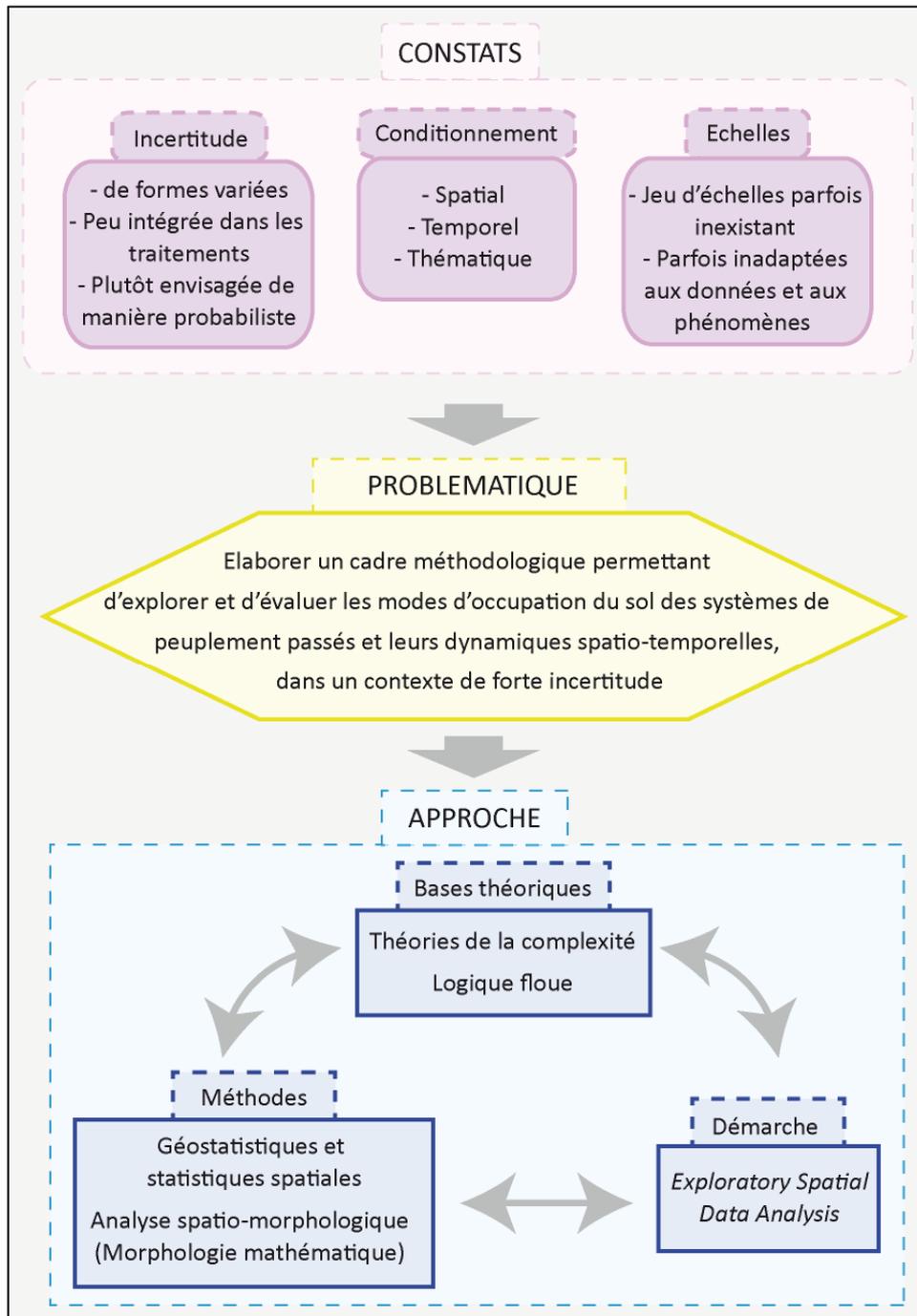


Figure 5 – Démarche adoptée dans cette thèse

Chapitre 3 : Contexte de la recherche

INTRODUCTION

Bien que menée dans une optique avant tout méthodologique, cette recherche répond à une demande formulée dans le cadre de l'ANR PaléoSyr, ayant pour objectif la caractérisation de la relation Homme-Milieu et de l'occupation du sol en Syrie occidentale –élément encore méconnu en tant que sous-ensemble cohérent dans le Croissant Fertile- au cours de l'Holocène.

Ce chapitre a ainsi pour objectif -outre la présentation du programme de recherche et de sa base de données- de prolonger les deux chapitres précédents : il s'agit de montrer en quoi les problématiques rencontrées par les chercheurs du programme PaléoSyr s'insèrent dans les questionnements archéologiques –et géographiques- actuels sur l'étude des dynamiques spatio-temporelles des systèmes de peuplement passés et sur l'incertitude inhérente à la démarche (chapitre 1), tout en donnant une dimension concrète et opérationnelle aux considérations d'ordre méthodologique qui constituent notre approche (chapitre 2).

1. PRESENTATION ET OBJECTIFS GENERAUX DU PROGRAMME PALEOSYR

1.1 Objectifs du programme

Le programme PaléoSyr a pour objectif principal d'étudier la coévolution homme–milieu dans le contexte bioclimatique et humain méditerranéen proche-oriental, plus spécifiquement à l'ouest du croissant fertile, à l'Holocène. Ce but se décline en divers sous-objectifs :

- Apprécier, à l'échelle régionale, les divers contextes environnementaux qui ont été le théâtre le plus précoce de toutes les grandes révolutions de l'humanité (néolithisation, urbanisation, étatisation) ;
- Identifier l'impact sur le milieu des aménagements humains, notamment les réponses apportées à la contrainte des variations climatiques, en dépassant les interprétations déterministes et mécanistes qui recherchent de manière binaire « action/réaction » des relations directes de causes à effets, pour les envisager dans le cadre de systèmes en coévolution qu'il faut modéliser ;

- Modéliser les systèmes « socio-climatiques » pour des périodes de crise environnementale ou d'oscillations rapides, ou de conditions environnementales constantes sur de longues durées ;
- Identifier et estimer la convergence chronologique entre les changements de deux séries temporelles et proposer des scénarios descriptifs et interprétatifs ;
- Estimer l'occupation du sol par l'homme en compilant l'information archéologique dans le Levant, en croisant vestiges datés d'habitat, et d'aménagements du paysage ;
- Modéliser des situations de changement provoquées par les conséquences de l'impact humain, et caractériser les ruptures d'équilibres ;
- Identifier des périodes de temps ou des aires géographiques pour lesquelles le nombre de données est suffisant en quantité et en qualité pour construire des modèles d'occupation du sol et identifier leur évolution dans le temps ;
- Mettre en relation ces données d'une région à l'autre et reconstruire un cadre géo-historique pertinent.

Il est intéressant de constater que les objectifs de ce programme embrassent à la fois une dimension purement archéologique, ou géo-archéologique, et des questionnements relatifs aux données produites et utilisées. Un lien explicite est ici établi entre qualité et nombre de données, et les résultats et interprétations issus de leur traitement, questionnant ainsi notre marge de manœuvre face à ces données et aux informations et aux modèles spatio-temporels d'occupation du sol que l'on souhaite en tirer. C'est sur ce point en particulier que s'est effectuée la rencontre entre la réflexion et les objectifs méthodologiques de cette thèse, et la demande du programme PaléoSyr.

1.2 Les zones géographiques étudiées dans le programme PaléoSyr

L'étude de cinq zones « test » permet de caractériser :

- L'espace littoral, directement ouvert aux influences tempérantes de la Méditerranée et adossé aux massifs levantins, ici le Jabal Ansariyya et le Mont Liban;
- La plaine du Ghab, partie intégrante du Croissant fertile, fossé d'effondrement encadré par deux massifs d'orientation méridienne, soumise à des effets de *foehn* et déjà marquée par l'aridité climatique ;
- Les « marges arides » du Croissant fertile, domaine de transition entre la steppe à graminées et le désert, soumis à un climat méditerranéen dégradé ;