

Analyse spatiale, émergence en géographie, en archéologie et en histoire

Loïc Jeanson

Université de Lausanne
loic.jeanson@unil.ch

Résumé

Les méthodes dites d'*analyse spatiale* ont été développées après la seconde guerre mondiale et leur adoption transforme profondément les sciences de la terre et du sous-sol (géographie, mais aussi géologie, géodésie, géomorphologie, géotechniques, ...). Cet article présente la genèse, l'évolution d'outils mathématiques et de pratiques en sciences géographiques dans la seconde moitié du XX^e siècle. Nous nous attacherons à en suivre les effets par les nouvelles méthodes et nouveaux outils d'analyse en géographie. L'incursion des statistiques rencontrera des résistances fortes qui mèneront à un clivage entre une géographie d'alors, inductive et idiographique, et une géographie nouvelle, nomothétique et déductive. Enfin, en poursuivant jusqu'au XXI^e siècle, nous verrons l'essaimage disciplinaire de ces nouvelles méthodes en géographie. L'analyse spatiale, transforme aussi l'histoire et l'archéologie par des changements profonds, pratiques, méthodologiques et épistémologiques, parfois réunis aujourd'hui sous le nom de *spatial turn*.

1 Introduction

La polysémie du mot « statistique » peut en compliquer l'emploi, ou plutôt nous force à le définir. Il s'agira qu'elle nous incite à en distinguer les différents sens, afin d'y voir plus clair. D'une part, la statistique et peut-être plus souvent, les statistiques, sont un ensemble de données numériques relatives à des groupes d'individus. D'autre part, la statistique est l'ensemble des méthodes permettant d'analyser ces données. Nous ne parlerons ici que de cette seconde entité : les outils et les méthodes

permettant de traiter les données.

Les divergences de nature entre les différentes méthodes statistiques, leurs développements et transformations, la diversité de leurs contextes d'utilisation et leur ajustement aux spécificités de leurs usages rendent la statistique nébuleuse, compliquant son appréhension en première approche. Et le problème n'est pas neuf.

En 1869, Friedrich Engels livre cette affirmation provocante devant le Congrès International de Statistique : aucun de ses auditeurs, pas même lui, ne serait en mesure de définir ce qu'est la statistique. Il ajoute même avoir récolté 180 définitions différentes. Faute d'avoir pu mettre la main sur cette collection de définitions (même après avoir parcouru les archives d'Engels), Walter Willcox, professeur d'économie à l'Université Cornell et créateur du *US Census Bureau* (Bureau du recensement des États-Unis) fait un constat similaire. Dans un article publié en 1936, il ne recense pas moins de 116 définitions différentes des termes « statistique », « Statistik », ou « Statistics », issue des dernières 50 années de publications scientifiques, soit plus de 2 définitions différentes par an (Willcox, 1936).

Aujourd'hui, on regroupe sous un même chapeau plutôt indifférencié, les données, les méthodes, les techniques. C'est-à-dire qu'on regroupe sous un même titre une grande diversité de pratiques, ajustées à leur objet d'étude et aux types de questions disciplinaires qui mobilisent des méthodes statistiques.

L'usage de la statistique a profondément transformé notre rapport à la mesure, à l'objectivité, notre façon de produire des connaissances dans les sciences expérimentales¹.

La pratique de la statistique transforme les champs disciplinaires, au point, parfois, de les désunir. Parce qu'elle donne des outils nouveaux et finement ajustés aux objets, elle concentre le regard, permet d'étudier plus spécifiquement, de plus près. En cela, elle permet l'ouverture de sous-domaines disciplinaires à part entière. En biologie, par exemple, l'usage de la statistique et du calcul informatique a mené à l'apparition de champs de recherche, appelé les *omics* ou omiques, en français,

1 Sur ce sujet, consulter en particulier les travaux différents de Lorraine Daston (1988, 1989, 1992)

d'après leur suffixe : génomique (genomics), métabolomique (metabonomics), métagénomique (metagenomics), la phénomique (phenomics) et la transcriptomique (transcriptomics). Mais la biologie n'est pas la seule discipline à avoir été profondément bouleversée. Nous verrons dans la suite les transformations qu'a subies la géographie.

2 La géographie, discipline poreuse

La géographie non plus ne se laisse pas cerner facilement. Les géographes, en effet, disputent, de longue date, les frontières qui distinguent leurs pratiques de celles de leurs pairs, tant proches (d'autres géographes) que plus éloignés (les géologues par exemple). Les dissensions ontologiques en géographie sont nombreuses. En 1887, Franz Boas – connu aujourd'hui comme un des fondateurs de l'anthropologie américaine – investigate une étrangeté :

It is a remarkable fact, that, in the recent literature of geography, researches on the method and limits of that science occupy a prominent place. Almost every distinguished geographer has felt the necessity of expressing his views on its aim and scope, and of defending it from being disintegrated and swallowed up by geology, botany, history, and other sciences treating on subjects similar to or identical with those of geography (Boas, 1887, p. 901).

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, ainsi que dans la première moitié du XX^e siècle, produire une géographie, c'est écrire, décrire les espaces explorés ou étudiés. Ainsi, les géographes proches de la botanique sont à même de décrire les climats, la diversité des types d'éco-systèmes. D'autres, les géographes proches des géologues, décrivent la nature des sols, des roches, des paysages par la géomorphologie, etc. Cette grande porosité disciplinaire permet de réunir sous la notion de *géographie* des pratiques et des questions très différentes, composant la discipline d'un grand nombre de facettes. En retour, cette porosité disciplinaire rend la géographie mal définie. On retrouve ce constat d'indéfinition de façon répétée et systématique au travers du XX^e siècle (Dryer, 1905; Kropotkin, 1885; de La Blache, 1913; Sorre, 1948, etc.).

Par cette approche descriptive, la géographie s'intéresse aux spécificités, aux *unicum*. Elle dit l'existant et les caractéristiques des localismes. En cela, elle est idiographique, accumulant des cas uniques. Mais l'emploi de méthodes statistiques par certains géographes, de concert avec leurs homologues géologues, naturalistes ou sociologues, annonce des changements profonds pour la discipline.

2.1 La révolution quantitative

En 1948, l'université d'Harvard ferme son département de géographie (Smith, 1987). Cette décision, ébranle la communauté des géographes aux États-Unis et exprime le malaise ancien et les critiques d'indéfinition disciplinaire récurrentes que subit la géographie. La géographie se trouve à un tournant, et la direction d'Harvard doute qu'elle réussira à le prendre, celui de l'emploi des méthodes statistiques, soutenues par l'usage des premiers ordinateurs.

Disons cependant tout de suite que le recours aux ordinateurs n'implique pas forcément l'emploi des méthodes statistiques. L'informatique à des fins académiques apparaît couramment aux États-Unis dans les années 1940 et en Europe dans les années 60. En 1967, alors que l'informatique n'est désormais plus nouvelle dans les cercles académiques, Torsten Hägerstrand, professeur de géographie à Lund distingue trois fonctions de l'informatique pour la géographie (Hägerstrand, 1967) :

- une fonction descriptive, permettant de produire des cartographies descriptives, en positionnant sur un fond de carte des éléments directement grâce à leur géoréférencement.
- une fonction analytique, permettant d'évaluer des relations spatiales, des relations entre lieux, en calculant des indices, des corrélations entre phénomènes, en calculant des frontières à partir de certaines règles, en classifiant des lieux ou des régions, en appliquant la théorie des cribles, ...
- une fonction de simulation, afin d'employer des modèles pour tenter de reproduire des phénomènes observés ou de tester les hypothèses d'évènements de nature géographique.

Les géographes eux-même affirment des points de vue très différents sur le recours aux méthodes mathématiques, que traduiront des diver-

gences pratiques durables. Si certains, comme John Cole, cherchent à montrer comment la formalisation mathématisation de concepts géographiques permet des approches et des résultats nouveaux (Cole, 1969), d'autres témoignages plus sceptiques (p. ex. Stamp, 1957 ou Gould, 1970) révèlent des divergences établissant deux pratiques de la géographie : d'une part, une géographie idiographique, descriptive, attachée aux événements pour leur unicité et d'autre part une géographie nomothétique, analytique, quantitative, attachée à mettre au jour des règles plus générales à partir de collection d'évènements.

Deux citations synthétisent ces divergences. D'un côté Sauer, professeur de géographie à Berkeley (il devient émérite en 1957) affirme en 1956 :

A geographer is any competent amateur [...] we may leave most enumeration to census takers [...] to my mind we are concerned with processes that are largely non-recurrent and involve time spans beyond the short runs available to enumeration (Sauer, 1956, pp. 291ff.).

Face à lui, les mots attribués au philosophe et logicien Whitehead, largement repris par des géographes déployant des approches statistiques : « To see what is general in what is particular and what is permanent in what is transitory » (repris dans Gould, 1979, p. 140).

Malgré la co-existence de regards différents, les méthodes quantitatives gagnent globalement du terrain. Si certains chercheurs décident d'éviter de les employer, entre la fin des années 1950 et la fin des années 1960, tous les départements de géographie intègrent des enseignements relatifs à ces méthodes quantitatives et statistiques (Lavalley et al., 1967).

2.2 Quantitatif et spatial

Malgré des résistances, les méthodes quantitatives gagnent la géographie à partir des années 1950. Johnston et al. décrivent (Johnston et al., 2019) :

- des changements philosophiques (comment la géographie quantitative adopte les méthodes scientifiques d'autres sciences ayant recours à la statistique);

- l'apparition du concept d'ordre spatial (il ne s'agit plus de regarder des relations verticales, des populations avec leur environnement, mais des relations horizontales : *spatial interaction, contacts and movements between places* ;
- le besoin d'intégrer pleinement les aspects quantitatifs à la géographie. C'est-à-dire que l'apprentissage de la statistique ne soit pas seulement un moyen d'assurer leur emploi correct, mais bien que leur adoption soit un élément d'une transformation plus large des pratiques géographiques.

Les géographes travaillant aux frontières de différentes disciplines (démographie, écologie, sciences de l'environnement, de la Terre, ...), emploient différentes méthodes statistiques. Mais s'il ne faut garder qu'un aspect propre à la géographie, c'est bien l'étude des espaces, c'est pourquoi, dans la suite de notre propos, nous nous concentrons seulement sur l'autocorrélation spatiale.

Avant 1968, elle a aussi été appelée « dépendance spatiale », ou « interdépendance spatiale », mais aussi « association spatiale », « interaction spatiale », ...

Griffith (1992) présente l'autocorrélation spatiale comme pouvant revêtir les neuf définitions suivantes :

- la corrélation d'une variable avec elle-même provenant de l'ordonnement géographique des données ;
- un instrument de description de la nature et de l'intensité d'une structure spatiale ;
- un indicateur de la quantité d'information latente contenue dans les données spatialisées, en particulier l'information qui s'avère toujours négligée dans les estimations statistiques classiques quand elles sont appliquées aux séries de données spatiales ;
- un outil permettant de repérer l'existence de variables significatives, mais non prises en compte dans le modèle ;
- un substitut à des données manquantes ;
- un obstacle pour l'application des méthodologies statistiques conventionnelles à des séries de données spatiales ;
- un indicateur du bien-fondé d'une partition spatiale, voire un artefact introduit par les frontières ;

- un mécanisme d'un processus spatial ;
- enfin, un effet de redistribution sur les lieux avoisinants.

Les effets de l'autocorrélation spatiale sont identifiés dès 1914 (Student, 1914) mais il faut attendre la moitié du XX^e siècle pour que Moran (1948, 1950) et Geary (1954) définissent deux indices pour mesurer l'autocorrélation spatiale. Ainsi, il devenait possible de mesurer si la position de groupes de valeurs similaires ou dissimilaires, produisent des motifs qui, sans référentiel géographique, seraient inexplicables.

Michael Dacey semble être le premier à proposer une mesure véritablement adaptée à la géographie (Dacey, 1966, 1968), c'est-à-dire qui dépasse les limites de l'invariance topologique propres aux mesures de Moran et Geary. Dans sa proposition, il pondère ainsi la contribution de chaque paire (les aires des zones i et j) par leur proportion de la zone étudiée ($a(i)$) multipliée par proportion de la frontière de i qui est commune entre i et j , ($b(i; j)$).

A sa suite, de nombreux géographes et mathématiciens formuleront différentes façons d'intégrer des pondérations propres à décrire et modéliser correctement les effets géographiques (p. ex. Bavaud, 2013; Getis, 2008; Griffith, 1996).

La pluralité des méthodes adaptées aux enjeux spatiaux développées par les géographes et mathématiciens est communément regroupée sous le terme d'analyse spatiale. En plusieurs décennies de développement des méthodes et de contexte de leur application, les géographes ont un recul sur leurs apports (Oliveau, 2010) et montrent une grande dextérité dans l'ajustement et la mathématisation de ces méthodes (Le Gallo, 2002).

3 L'archéologie et l'histoire s'emparent de ces méthodes

L'histoire et l'archéologie aussi se situent en interface disciplinaire avec la géographie. Avec celle-ci, elles partagent des terrains, des sources, des outils (cartographiques *a minima*). Les développements réalisés en géographie n'ont pas immédiatement été portés dans ces disciplines voisines, mais avec quelques dizaines d'années d'écart.

3.1 L'analyse spatiale gagne l'archéologie

L'analyse spatiale se base sur les trois fonctions de la statistique informatisée explicitées précédemment (visualiser, analyser, simuler). Selon les sites et les problématiques de recherche, les archéologues cherchent des outils pour un usage proche de celui des géographes : visualiser, analyser et tester des hypothèses par rapport à des espaces documentés, à partir d'informations (souvent très) lacunaires. En cela l'analyse spatiale (autrement dit le recours à la statistique et à l'informatique sur des données spatialisées) trouve en archéologie un terrain propice à son utilisation. Les méthodes issues de la statistique (analyse multivariée, autocorrélation, clustering, classification, calcul de distances, de cartes thermiques, ...) appliquées à l'archéologie permettent de mettre en lumière des relations spatiales au travers des échelles de regard : intra-site, inter-site, à l'échelle de territoires, d'aires culturelles, en suivant des circulations, etc. On trouve de nombreux exemples. Prenons-en deux, séparés de plusieurs années, afin de mesurer combien l'adoption des méthodes statistiques se généralise, mais aussi combien le développement logiciel (les systèmes d'information géographiques – SIG), ainsi que le développement de langages de programmation permettant la modélisation et le calcul (en particulier R et Python dans les usages courants d'archéologues aujourd'hui), facilitent ces usages.

Pour suivre le changement de rapport à ces approches, commençons par un article intermédiaire (1984), de Jan F. Simek, professeur d'archéologie à l'Université du Tennessee, spécialiste des habitats paléolithiques et néolithiques dans des grottes et abris sous roche. La figure 1 réunit en synthèse des méthodes statistiques utilisées pour analyser la couche V du site nommé *Le Flageolet I* en Dordogne, en France.

Les analyses de Simek utilisent des méthodes statistiques simples, afin de classer et réduire le volume de données issues des fouilles. La mathématique utilisée n'est pas très poussée, mais les clusters et les zones sont spatialisés dans un plan 2D de référence. Nous sommes alors en 1984, et si l'accès à l'informatique n'est pas plus limité pour les géographes que pour les archéologues, la connaissance de la pertinence des méthodes et de leurs usages doivent traverser les poreuses parois disciplinaires.

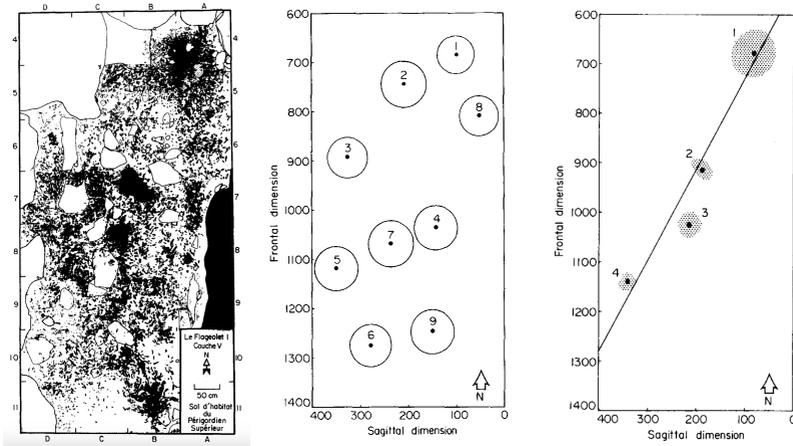


FIGURE 1 – A gauche, localisation des trouvailles archéologiques de la couche V du site de fouille *Le Flageolet I* ; au centre, les résultats de la classification par k-means à partir de typologie des outils identifiés et caractérisés parmi les objets trouvés sur cette même couche V ; à droite les zones 1, 2 3 et 4 montrent un centre et une étendue de localisation des éléments archéologiques (hors objets), la ligne indique la régression par le centre des zones. Ces illustrations, reproduites avec autorisation, viennent de [Simek \(1984\)](#).

Comme second exemple, regardons l’usage fait à une tout autre échelle, bien plus grande. Nous observons alors des sites de fouilles répartis autour des frontières entre Belize, le Guatemala, le Honduras et le Mexique. Luke S. Premo, anthropologue s’intéresse aux dynamiques d’occupation du territoire de populations Maya, au travers de l’analyse de 47 sites. Dans cet article, il montre comment le recours aux indices de Morand et de Geary lui permet de distinguer des dynamiques locales tout en continuant à regarder l’ensemble des sites à une échelle globale. La figure 2 montre la position des sites et les différents niveaux de gris donnent les datations extrêmes qui ont pu être attribuées aux sites. On peut les voir représentés sur la figure 3. Le recours à l’autocorrélation locale, par les indices de Morand et de Geary rend possible la visualisation de dynamiques locales de grain plus fin, lui permettant d’approfondir sa compréhension de l’occupation du territoire et des dynamiques humaines passées.

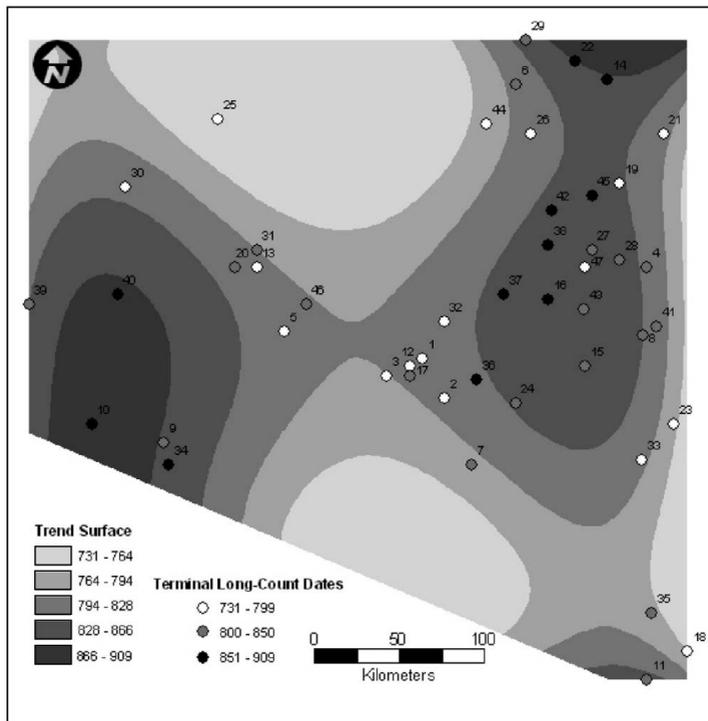


FIGURE 2 – Cette carte (très simplifiée) montre la position et les datations extrêmes des 47 sites Maya étudiés par Premo. Cette illustration, reproduite avec autorisation, vient de Premo (2004).

Il ne s'agit pas ici de produire le récit linéaire, de tracer une direction à suivre ou une perspective unique de progrès. Il s'agit plutôt de montrer la diffusion des méthodes, les transformations épistémologiques, accélérées par un contexte socio-technique d'accès sans cesse plus facile aux langages, aux logiciels et moyens matériels du calcul.

3.2 Le *spatial turn* s'empare de l'histoire, et des histoires spécialisées

Les historien·nes approchent également l'espace au travers de leurs questions propres, mais sous l'influence de géographes, les enjeux

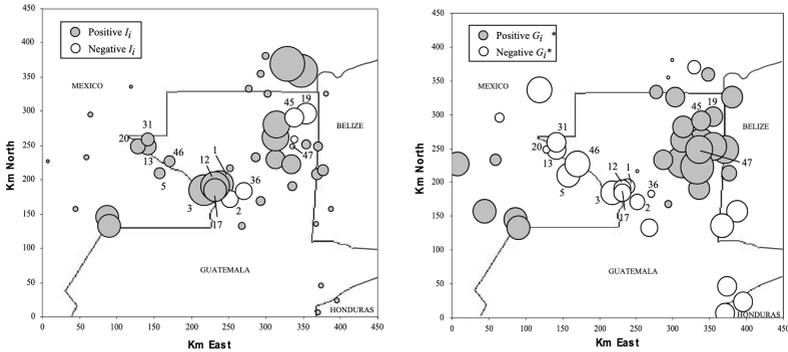


FIGURE 3 – Cette carte (très simplifiée) montre la position et les datations extrêmes des 47 sites Maya étudiés par Premo. Cette illustration, reproduite avec autorisation, vient de Premo (2004).

spatiaux gagnent du terrain dans leurs activités depuis les années 1990 environ (on peut noter en particulier Edward Soja, très influent dans le monde anglophone, notamment avec Soja, 1989).

Les historien-ne-s des sciences et des techniques étaient peut-être déjà confronté-e-s aux enjeux spatiaux de l'étude de leurs objets, dans l'approche de leurs acteurs. Ce furent en tous cas les première-s à incarner ce *spatial turn* en histoire. Ils-elles cherchaient à « spatialiser l'histoire », « localiser la culture », « situer la rationalité » (pour reprendre les catégories de Soja). Très associé à la révolution numérique, ce *tournant spatial* s'empare des SIG (Juvan, 2015), mais avant que leur usage ne soit véritablement démocratisé par l'existence de logiciels open source bien aboutis. Par exemple, dès 1991, la revue *Science in Context*, créée en 1987, publie un numéro dédié à l'étude du « lieu de savoir » (*the place of knowledge*). L'introduction de ce numéro spécial, par Adi Ophir et Steven Shapin donne une bonne idée du regard des historien-ne-s sur le rapport aux espaces (Ophir & Shapin, 1991).

Entre les années 1990 et aujourd'hui, les travaux d'historien-ne-s intégrant l'analyse spatiale se multiplient. Ils accompagnent les tendances disciplinaires à l'œuvre. La micro-histoire trouve un pendant dans la

micro-spatial perspective (De Vito, 2019). L'étude de la circulation des idées, des paradigmes ou des concepts y trouve également un fort écho (p. ex. dans le programme de recherche CIRMATH, Peiffer et al., 2020). Il en va de même pour les études *aréales* à la frontière entre histoire et géographie. Différents consortium réunissant historien-ne-s et archéologues, voient le jour, permettant le partage de la connaissance des méthodes et la formation à leur utilisation (p. ex. le consortium Athéna, Thibault, 2018). Enfin, depuis une décennie environ, l'histoire de l'urbanisme et de l'architecture a recours largement aux méthodes statistiques d'analyse spatiale. Plusieurs membres du consortium *Paris Time Machine*, par exemple, ont produit des résultats numériques utiles pour les historiens. Citons, en particulier les travaux réalisés entre l'IGN et l'EHESS, ayant permis de géocoder les adresses sur des cartes anciennes de Paris, puis de cartographier les activités et commerces actifs, en recoupant ces adresses avec celles indiquées dans les annuaires du commerce de plusieurs décennies, dont les informations ont été extraites automatiquement (Abadie et al., 2023). On pourra aussi citer l'approche complémentaire, à échelle réduite mais avec un grand détail, réalisée à l'Institut National d'Histoire de l'Art sur l'étude de quelques rues du quartier Richelieu à Paris (Duvette et al., 2023).

4 Conclusion

Si la révolution spatiale et informatique a commencé en géographie dans les années 1960, elle continue à se déployer, tant du point de vue des méthodes que de leurs applications, en géographie, en archéologie, en histoire, etc.

Par ce rapide tour d'horizon, nous espérons avoir pu montrer la pertinence qu'ont trouvé les méthodes statistiques et comment les travaux mathématiques développant des méthodes nouvelles, ou les ajustant à des questions et des approches spécifiques, transforment les pratiques scientifiques, les types de résultats produits, les stratégies d'analyse et les moyens de la preuve mobilisés par les chercheuses et chercheurs. La démocratisation des moyens matériels et logiciels du calcul contribue encore à leur adoption.

La pertinence de ces méthodes et de leurs usages nous révèle leur

utilité dans les enseignements en géographie, en histoire, en archéologie, ou de façon générale dans les sciences humaines et sociales. Si les approches qualitatives et idiographiques restent inévitables pour approcher certains questionnements, les approches quantitatives nous donnent des moyens d'analyse, de modélisation et de visualisation indispensables à d'autres façons de faire la géographie, l'histoire ou l'archéologie. En cela, l'hybridité des approches livre des résultats étayés par des moyens multiples, permettant de croiser et de cumuler les preuves. Le *spatial turn* et l'analyse statistique spatiale ont encore de beaux jours devant eux !

Références

- Abadie, N., Baciocchi, S., Bernard, C., Carlinet, E., Chapron, P., Chazalon, J., Chen, Y., Cristofoli, P., Duménieu, B., Fernandez, M., et al. (2023). Soduco : croisement de sources géo-historiques pour l'étude de l'évolution de Paris de 1789 à 1950. In *Conférence interdisciplinaire : Extraction, traitement et visualisation de données complexes en géographie (XVIIIe siècle-XIXe siècle)*.
- Bavaud, F. (2013). Testing spatial autocorrelation in weighted networks: the modes permutation test. *Journal of Geographical Systems*, 15(3):233–247.
- Boas, F. (1887). The study of geography. *Science*, 9(201):137–141.
- Cole, J. P. (1969). Mathematics and geography. *Geography*, 54(2):152–164.
- Dacey, M. F. (1966). A county-seat model for the areal pattern of an urban system. *Geographical Review*, 56(4):527–542.
- Dacey, M. F. (1968). An empirical study of the areal distribution of houses in Puerto Rico. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 45:51–69.
- Daston, L. (1992). Objectivity and the escape from perspective. *Social Studies of Science*, 22(4):597–618.
- Daston, L. J. (1988). *Fitting numbers to the world: The case of probability theory*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Daston, L. J. (1989). Compte-rendu du livre « The history of statistics: The measurement of uncertainty before 1900 » de Stephen M. Stigler. *The Journal of Modern History*, 61(1):135–137.
- de La Blache, P. V. (1913). Des caractères distinctifs de la géographie. *Annales de Géographie*, 22(124):289–299.
- De Vito, C. G. (2019). History without scale: The micro-spatial perspective. *Past & Present*, 242(Supplement_14):348–372.

- Dryer, C. R. (1905). What is geography? *Journal of Geography*, 4(8):348–360.
- Duvette, C., Jeanson, L., Kervegan, P., Prudhomme, C., Gain, J., Dasilva, E., & Baranger, L. (2023). « La marque du lieu » dans le « quartier Richelieu ». In *Humanistica 2023*.
- Geary, R. C. (1954). The contiguity ratio and statistical mapping. *The Incorporated Statistician*, 5(3):115–146.
- Getis, A. (2008). A history of the concept of spatial autocorrelation: A geographer's perspective. *Geographical Analysis*, 40(3):297–309.
- Gould, P. (1970). Is statistix inferens the geographical name for a wild goose? *Economic Geography*, 46:439–448.
- Gould, P. (1979). Geography 1957–1977: the Augean period. *Annals of the Association of American Geographers*, 69(1):139–151.
- Griffith, D. A. (1992). What is spatial autocorrelation? Reflections on the past 25 years of spatial statistics. *L'Espace géographique*, 21(3):265–280.
- Griffith, D. A. (1996). Spatial autocorrelation and eigenfunctions of the geographic weights matrix accompanying geo-referenced data. *Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 40(4):351–367.
- Hägerstrand, T. (1967). The computer and the geographer. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 42:1–19.
- Johnston, R., Harris, R., Jones, K., Manley, D., Wang, W. W., & Wolf, L. (2019). Quantitative methods I: The world we have lost—or where we started from. *Progress in Human Geography*, 43(6):1133–1142.
- Juvan, M. (2015). From spatial turn to GIS-mapping of literary cultures. *European Review*, 23(1):81–96.
- Kropotkin, P. A. (1885). What geography ought to be. *The Nineteenth Century*, 18:940–956.
- Lavalle, P., McConell, H., & Brown, R. G. (1967). Certain aspects of the expansion of quantitative methodology in American geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 57(2):423–436.
- Le Gallo, J. (2002). Économétrie spatiale : l'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire. *Economie & prévision*, 155(4):139–157.
- Moran, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2):243–251.
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2):17–23.
- Oliveau, S. (2010). Autocorrélation spatiale : leçons du changement d'échelle. *L'Espace géographique*, 39(1):51–64.

- Ophir, A. & Shapin, S. (1991). The place of knowledge a methodological survey. *Science in Context*, 4(1):3–22.
- Peiffer, J., Gispert, H., & Nabonnand, P. (2020). De l’histoire des journaux mathématiques à l’histoire de la circulation mathématique. *Cahiers François Viète*, III-9:123–153.
- Premo, L. (2004). Local spatial autocorrelation statistics quantify multi-scale patterns in distributional data: an example from the Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science*, 31(7):855–866.
- Sauer, C. O. (1956). The education of a geographer. *Annals of the Association of American Geographers*, 46(3):287–299.
- Simek, J. F. (1984). Integrating pattern and context in spatial archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 11(5):405–420.
- Smith, N. (1987). “Academic war over the field of geography”: The elimination of geography at Harvard, 1947–1951. *Annals of the Association of American Geographers*, 77(2):155–172.
- Soja, E. W. (1989). *Postmodern geographies: The reassertion of space in critical social theory*. Radical Thinkers. Verso, London New York.
- Sorre, M. (1948). Fondements de la géographie humaine. *Cahiers internationaux de sociologie*, 5:21–37.
- Stamp, L. D. (1957). Geographical agenda: A review of some tasks awaiting geographical attention: Presidential address. *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, 23:1–17.
- Student (1914). IV. The elimination of spurious correlation due to position in time or space. *Biometrika*, 10(1):179–180.
- Thibault, F. (2018). Alliance athéna, activity report 2017 [rapport de recherche]. Alliance Athéna.
- Willcox, W. F. (1936). Definitions of statistics. *Revue de l’Institut International de Statistique/Review of the International Statistical Institute*, 3(4):388–399.