

Chapitre III. L'historien et l'algorithme

Frédéric Kaplan / EPFL Digital Humanities Laboratory
Mélanie Fournier / EPFL Digital Humanities Laboratory
Marc-Antoine Nuessli / EPFL Digital Humanities Laboratory
Correspondances à adresser à frederic.kaplan@epfl.ch

Introduction

« [...] l'historien de demain sera programmeur ou il ne sera plus ». Souvent citée, la prophétie d'Emmanuel Le Roy Ladurie en 1968 dans le *Nouvel Observateur* résume bien les tensions et les enjeux qui sont, encore aujourd'hui, au cœur des sciences historiques¹. Les relations houleuses qu'histoire et informatique entretiennent ne sont pas nouvelles et la révolution des sciences historiques annoncée depuis plusieurs décennies continue de se faire attendre. Dans ce chapitre, nous aimerions néanmoins tenter de montrer qu'une évolution inédite est aujourd'hui à l'œuvre dans les sciences historiques et que cette transformation est différente de celle qui a caractérisé, il y a quelques décennies l'arrivée de la « cliométrie » et des méthodes quantitatives. Notre hypothèse est que nous assistons par les effets de trois processus complémentaires à une généralisation des algorithmes comme objets médiateurs de la connaissance historique.

Notre raisonnement tiendra en six étapes.

1 — Par précaution, nous rappellerons d'abord que le débat du rôle de l'informatique en histoire est ancien et qu'à de nombreuses reprises des révolutions censées transformer en profondeur les sciences historiques ont été annoncées sans toutefois se réaliser dans les faits. Puis nous discuterons comment les sciences historiques ont progressivement subi un tournant spatial lié à la généralisation progressive des systèmes d'information géographique et au perfectionnement des méthodes de cartographies historiques.

2 — Nous développerons alors l'hypothèse centrale de cet article en expliquant que ce tournant spatial est en fait un tournant algorithmique, caractérisé par trois processus complémentaires qui seront développés dans les points suivants.

3 — Nous expliquerons, d'abord, comment le développement de la cartographie historique impose une éthique de la représentation qui à son tour force l'explicitation des processus qui sous-tendent la construction de la représentation visuelle.

¹ « [...] l'historien de demain sera programmeur ou il ne sera plus » : L'article original où apparaît cette citation est paru dans *Le Nouvel Observateur*, le 8 mai 1968; il a été ensuite reproduit sous le titre "L'historien et l'ordinateur".

4.— Nous verrons, ensuite, comment la pression pour l’interopérabilité, nécessaire à la construction de grandes bases de données historiques, conduit vers des méthodes pour standardiser et traduire ces processus sous des formes algorithmiques.

5 — Nous illustrerons, enfin, comment la cartographie historique invite à étendre les hypothèses de recherche sous des formes algorithmes susceptibles de donner lieu à des représentations visuelles et de quelle manière le débat historique se déplace progressivement vers ce type de média.

6 — Nous concluons sur les conséquences de ces trois processus pour l’historien et sur la nécessité de former une nouvelle génération de chercheurs capable de formaliser leur pratique et d’exprimer leurs hypothèses sous des formes algorithmiques.

Les sciences historiques ont entamé depuis dix ans un tournant cartographique.

Dans sa synthèse historique sur l’utilisation des ordinateurs pour les sciences historiques, William G. Thomas III, a bien montré que la promesse de la révolution numérique, si discutée aujourd’hui, est loin d’être pour un historien une perspective nouvelle². Au contraire, déjà à la fin des années 1960, la plupart des grandes conférences d’histoires incluait dans leur programme des tables rondes conflictuelles opposant les « nouveaux » historiens aux historiens « traditionnels ». Déjà dans ces années, les « nouveaux » vantaient les mérites de gros ordinateurs pour réaliser des calculs à grande échelle. Ils défendaient une histoire moins narrative, appuyée par des méthodes quantitatives. Le terme « cliométrie » fut forgé durant cette période pour nommer cette nouvelle manière de faire l’histoire avec l’aide des grands nombres.

Il est sans doute peu utile de rappeler que déjà à cette époque, le camp des « traditionnels » accueillait ce type d’approche par un profond scepticisme. Certains mettaient en doute la pertinence de l’approche quantitative :

« Toutes les questions importantes sont importantes précisément parce qu’elles ne peuvent recevoir de réponse quantitative »³.

D’autres pointaient déjà du doigt les coups extravagants de ces projets numériques :

² Thomas W. “Computing and the Historical Imagination.” In *A Companion to Digital Humanities*, edited by Schreibman S., Siemens R., Unsworth J., 2004, 56–68.

³ Swierenga R. P. *Quantification in American History: Theory and Research*. Atheneum, 1970

« Ce sont toujours les projets qui ont été financés avec le plus d'ampleur, ceux qui ont rassemblé des ambitieuses armées de chercheurs payés, ceux dont la science était la plus liée aux dernières technologies informatiques, ceux qui impliquaient les présentations mathématiques les plus sophistiquées, qui, au final, se sont révélées les plus décevantes ». (Lawrence Stone, historien britannique cité par Thomas).

Des décennies ont passé, les mêmes débats se perpétuent. Dans l'intervalle, on peut sans crainte affirmer que les méthodes quantitatives ont montré leur force pour certains domaines et leur manque de pertinence pour d'autres. Il n'y a pas vraiment eu de révolution. Pourtant dans son article de 2004, Thomas notait déjà que quelque chose de plus excitant et de plus dérangeant que les premiers projets « cliométriques » était en train de se constituer.

« Une grande anticipation et attention entoure aujourd'hui ce que nous pourrions appeler les systèmes d'information géohistorique⁴ ce qui désigne une méthodologie et un champ interdisciplinaire émergent dans lesquelles les techniques informatiques d'analyse spatiale sont appliquées à l'archéologie, l'histoire, la loi et à d'autres domaines. Les historiens sont en train de construire des systèmes à grande échelle pour reconstituer les données historiques sous des formes géographiques pour divers lieux dans le monde depuis la Grande-Bretagne jusqu'au Tibet (...). Considérés dans leur ensemble ces efforts ouvrent des possibilités remarquables pour reconstituer des ensembles intégrés et organisés en réseau »⁵.

Bien que Thomas n'utilise pas ce terme, ces efforts liant l'histoire et la géographie peuvent s'interpréter comme la construction de *machines à remonter le temps* de grandes ampleurs capables de reconstituer des visions synthétiques du passé à partir de grandes bases de données d'information historiques.

« En poussant plus loin ces systèmes d'information géohistorique, ils pourraient recréer des "territoires perdus" de façon à ce qu'il soit possible de se déplacer et de naviguer à l'intérieur de ces espaces. Ces modèles en quatre dimensions pourraient reconstituer les immeubles, les routes et les ruines des territoires historiques autant que les géographies légales, économiques, sociales ou religieuses qui leur sont associées. Les réseaux informationnels, financiers, commerciaux et culturels pourraient également trouver leur place dans ces modèles. Les utilisateurs pourraient vouloir interroger ces ensembles de données, mais aussi interagir avec, se plaçant dans des rôles particuliers et suivant des routes

⁴ Systèmes d'information géohistorique : Nous traduisons l'expression anglaise «historical GIS» par «systèmes d'information géohistorique».

⁵ Thomas, idem.

qu'ils ne pourraient pas prédire, mais ne pourraient pas ignorer [...] Le rôle pour l'historien qui travaillera dans ce média numérique sera de rendre ces technologies informatiques transparentes [...] »⁶

Thomas écrivait à une époque où les termes *Digital Humanities* ne sont encore utilisés que par un petit cercle de chercheurs, essentiellement anglo-américains. Dans la décennie qui suivit, le domaine émergent des systèmes d'information géohistorique a pris une ampleur significative et est devenu, comme Thomas le présentait, un des domaines les plus excitants des *Digital Humanities*. Prolongeant l'intuition de Thomas, la pertinence de ces approches pour les sciences historiques a été défendue par un nombre croissant de chercheurs⁷. Des programmes de recherche ambitieux ont été lancés⁸ et plusieurs études de cas ont donné des résultats intéressants en appliquant cette méthodologie⁹.

Ce tournant cartographique impose les algorithmes comme médiateurs.

Face à ce récent tournant cartographique, certaines critiques et doutes ne manquèrent pas d'être exprimés. Par exemple, Boonstra défendit, sans doute à juste titre, que malgré la maturité de ces outils, ces approches étaient encore très difficiles à utiliser pour les historiens¹⁰. Pourtant nous pourrions argumenter que cette résistance n'est pas seulement liée à la maîtrise d'un nouvel outil, mais relève une difficulté épistémologique dans la mesure où il s'agit d'incorporer une nouvelle technologie intellectuelle pour la pensée historique¹¹. Or ce nouveau support de pensée n'est pas tant la carte — finalement familière pour l'historien, même s'il garde souvent ses distances avec elle —, que l'algorithme.

Comme nous allons le voir, le tournant introduit par les systèmes d'information géographique impose implicitement les algorithmes comme médiateurs de la plupart des processus intellectuels sous-jacents aux sciences historiques ou en devenir dans leurs développements les plus récents.

⁶ Thomas, idem

⁷ Gregory, I. N., P.S. Ell. *Historical GIS: Technologies, Methodologies, and Scholarship*. Cambridge University Press, 2007. et Bodenhamer D.J., Corrigan J., and Harris T.M. *The Spatial Humanities: GIS and the Future of Humanities Scholarship*. Indiana University Press, 2010.

⁸ Exemples de programmes de recherche utilisant les systèmes d'information géohistoriques : EventMap (Nakhimovsky 2010), Visual Eyes (<http://www.viseyes.org/>), Pleiades (<http://pleiades.stoa.org>,) ou Pelagios project (<http://pelagios-project.blogspot.ch/>) (Elliott 2009, Elliott & Gillies 2010).

⁹ Une étude de cas intéressante: Les projets récents sur la déconstruction de la géographie de Ptolémée constitue un exemple intéressant de l'apport des systèmes d'information géohistoriques par rapport à une problématique de recherche particulière (Tsorlini 2009, Kleineberg, A., et al. 2010, Leif 2012).

¹⁰ Boonstra O. "Barriers Between Historical GIS and Historical Scholarship." *International Journal of Humanities and Arts Computing* 3 (1-2) (October 1), 2009, p. 3–7.

¹¹ Robert P.. *Mnémotechnologies: une théorie générale critique des technologies intellectuelles*. 1 vols. Collection Communication, médiation et construits sociaux, Hermès science publications : Lavoisier, 2010.

Cette nouvelle « médiation algorithmique » s'est structurée autour de trois processus indépendants, bien que complémentaires.

D'abord, la représentation sous forme de cartes, en faisant basculer une représentation essentiellement textuelle et narrative en une représentation visuelle et exploratoire, introduit un mouvement visant à expliciter chaque étape des processus de constitution des données historiques sous-jacentes aux représentations. Pour ne pas tromper celui qui lit les représentations visuelles et synthétiques d'un passé reconstitué, il faut développer des outils et des processus garantissant une « éthique de la représentation ». Ces développements impliquent non seulement la constitution de nouvelles normes visuelles, mais également, par souci de transparence, la formalisation d'un certain nombre d'étapes épistémologiques dans les pratiques des sciences historiques.

Ensuite, quand de grands projets collaboratifs sont mis en place, ce mouvement vers plus de transparence se voit complété par un besoin accru d'interopérabilité nécessaire pour constituer des corpus toujours plus grands de données. Cette interopérabilité conduit de fait à une explicitation systématique des processus intellectuels sous-jacents aux sciences historiques et réalise ainsi un second niveau de formalisation.

Enfin, la nécessité de représenter cartographiquement le passé pousse à déployer certaines hypothèses sous la forme d'algorithmes permettant de tracer des plans, trajets, modèles en trois dimensions à partir d'hypothèses formalisées. De façon insensible, le débat historique se transforme en un débat où les algorithmiques servent d'intermédiaires. Ce sont ces trois effets que nous étudions dans les paragraphes qui suivent.

L'éthique de la représentation associée aux cartographies historiques conduit à une première formalisation.

Face aux avancées lentes, mais constantes, des cartes dans les territoires de l'historien, certains argumentèrent que les représentations cartographiques ne sont pas le bon outil pour exprimer l'incertitude intrinsèque qui caractérise les recherches en histoire¹². En effet, les lecteurs de cartes attendent peut-être implicitement un niveau de précision éventuellement incompatible avec le niveau de certitude que les données peuvent raisonnablement fournir¹³. Alors qu'un nombre toujours plus grand de projets s'attelle à reconstruire des cartes du passé, la question de la

¹² Monmonier M. S. *How to Lie with Maps*. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

¹³ Voir Plewe B. "The Nature of Uncertainty in Historical Geographic Information." *Transactions in GIS* 6 (4), 2002, 431–456. Voir aussi Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D.J., and Rhind D.W. *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons, 2005.

représentation de l'incertitude a pris à grande importance dans la communauté des *Digital Humanities*. L'enjeu sous-jacent n'est rien moins qu'une éthique de la représentation.

Une manière d'approcher ce problème est d'associer chaque processus intellectuel et technique qui permet la construction des cartes ou d'autres formes de représentations visuelles à des *paradata*, c'est à dire des données documentant la manière dont sont constituées les données historiques représentées¹⁴. D'un point de vue éthique, plus les reconstitutions du passé sont susceptibles d'impressionner, plus rigoureux et transparent devrait être le processus intellectuel et technique sous-jacent¹⁵.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour visualiser l'incertitude de données. Rees par exemple utilise différents niveaux d'opacité pour signifier le degré d'incertitude présente sur les cartes historiques¹⁶. De manière similaire, Jones associe par exemple différents degrés d'opacités correspondant aux degrés de certitude de chaque modèle de sa reconstitution de Southampton en 1454 (très dense quand le bâtiment est encore présent, dense quand le bâtiment existe encore, mais a subi des rénovations importantes, moyen quand il n'existe plus qu'une ruine, très peu dense quand la seule source de présence de ce bâtiment est indirecte, indiqué par exemple par une position sur un plan). Ces informations permettent de qualifier la nature de la reconstitution 3D résultante¹⁷.

L'obligation de transparence dans les modes de visualisation implique donc une première formalisation épistémologique des processus qui permettent de relier la construction de la donnée historique avec sa représentation. Cette formalisation est un premier pas vers une mise en algorithme.

Le besoin d'interopérabilité nécessaire pour la constitution des grandes bases de données conduit à un second niveau de formalisation.

Mais la situation se complique quand il ne s'agit pas pour un chercheur de documenter son propre processus de travail, mais pour une communauté plus vaste de s'accorder sur un jeu de donnée commun. Cette situation est de fait la norme dans les grands projets de reconstitutions historiques

¹⁴ Bentkowska-Kafel A., Denard H., and Baker D. *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Ashgate Publishing, Ltd, 2012

¹⁵ Turner M. "Lies, Damn Lies and Visualization: Will Metadata and Paradata Be a Solution or a Curse?" In *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, edited by Bentkowska-Kafel A., Denard H., and Baker D. A Volume of Essays for the AHRC ICT Methods Network Series, Digital Arts and Humanities. Ashgate Publishing, Ltd, 2012.

¹⁶ Rees G.P. "Uncertain Date, Uncertain Place: Interpreting the History of Jewish Communities in the Byzantine Empire Using GIS." In *Proceedings of Digital Humanities 2012*. Hamburg, 2012.

¹⁷ Jones M. "Hypothesizing Southampton in 1454: A Three-dimensional Model of the Medieval." In *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, edited by Anna Bentkowska-Kafel. Farnham: Ashgate, 2012. Disp sur : <http://visualizationparadata.wordpress.com/9-2/>.

qui tendent à agréger des données disparates venant de sources diverses et issues de longues chaînes de transformations informationnelles. Il s'agit par exemple de combiner des données extraites de l'analyse automatique de documents d'archives, qui ont été successivement sélectionnés, numérisés, automatiquement transcrits et sémantiquement indexés avec des données cartographiques issues de la vectorisation de documents anciens. Chacune de ces étapes implique un grand nombre de choix techniques et intellectuels, qui ne sont en général pas toujours complètement explicités par les historiens. Or, ces données ne font sens que par rapport à l'ensemble de ces processus qui définissent implicitement un espace de connaissance particulier.

Pour constituer les grandes bases de données nécessaires aux processus cartographiques, la question de l'alignement de ces espaces de connaissance a priori disjoints doit se poser. En plus de l'explicitation de chacune des étapes sous-jacentes à la constitution des données, les ontologies, constituées par les variables particulières que le chercheur étudie, doivent pouvoir être projetées dans un référentiel commun, ce que l'on appelle une ontologie pivot.

Une partie de cette difficile mise en ordre peut dans certains projets être obtenue par la standardisation des processus d'encodage des données utilisées et à plus grande échelle, par la mise en place de standards internationaux garantissant un certain niveau d'interopérabilité¹⁸. Quand de tels standards ne sont pas appliqués, des stratégies de traduction et d'alignement peuvent se mettre en place¹⁹. Mais dans tous les cas, il semble clair que le tournant cartographique implique implicitement la mise en place de procédures d'explicitations, dont la granularité doit être la plus fine possible, seule possibilité pour pouvoir constituer les « Big data » du passé nécessaires aux reconstitutions cartographiques.

Ainsi, l'explicitation formelle des procédures des historiens motivée par leur transparence et leur interopérabilité tend à transformer leurs pratiques plus ou moins formalisées en processus ressemblant de plus en plus à des algorithmiques. Il faudra revenir sur l'importance épistémologique d'une telle transformation — qui correspond d'ailleurs à une tendance qui touche les technologies de la connaissance en général, au-delà du cas particulier des sciences historiques²⁰ —, mais il nous faut encore considérer qu'un autre processus produisant un effet complémentaire est également à l'œuvre avec le tournant cartographique.

¹⁸ Standardisation : Les efforts développés autour de la norme ISO CIDOC-CRM sont un bon exemple de la recherche d'une ontologie pivot permettant une interopérabilité entre les projets (Doerr 2003, 2009)

¹⁹ Shvaiko, P. and Euzenat, J. "Ontology Matching: State of the Art and Future Challenges." *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2013.

²⁰ Frédéric, Kaplan. "How Books Will Become Machines." In *Lire Demain. Des Manuscrits Antiques à L'ère Digitale.*, edited by Claire Clivaz, Jérôme Meizos, François Vallotton, and Joseph Verheyden, 25–41. PPUR, 2012.

Les cartographies historiques invitent à transformer les hypothèses en algorithmes.

Les représentations cartographiques en 2D ou 3D invitent l'historien à tenter de représenter de manière plus géométrique les objets du passé, jadis décrits de manière uniquement textuelle et narrative. Les cartes amènent à se poser des questions du type : quel trajet précis a fait ce bateau durant l'été 1625 ? À quoi ressemblait ce bâtiment en 1323 ? Où était la frontière entre ces deux états en l'an 1745 ? Pour répondre à ces questions, l'historien peut extrapoler à partir des données existantes, extraire les régularités — les grammaires —, qui gouvernent les formes connues pour simuler leur application dans un nouveau cas non directement documenté.

En informatique, ce type d'approche appartient à la grande famille des techniques d'extrapolation, et plus particulièrement à ce qu'on appelle les approches génératives ou procédurales. Ce type de méthodes est, depuis quelques années, utilisé avec succès dans des projets variés²¹. Une grammaire générative permet par exemple de tracer un réseau de rues ou de visualiser des façades de bâtiments²². Ces « architectures » procédurales peuvent cohabiter avec des modélisations plus traditionnelles comme dans le cas de projet *Rome Reborn*, une reconstruction de la Rome antique en 320 AD²³. Le modèle de la ville utilisé dans ce projet combine aussi bien des éléments de classe I, dont la position, l'identification et l'apparence sont connues avec une assez grande précision, et des éléments de classe II pour lesquels le modélisateur ne dispose que d'informations indirectes et imprécises. Seuls 250 bâtiments parmi les 7000 bâtiments que compte la reconstitution appartiennent à la première catégorie. Tous les autres sont construits selon des hypothèses architecturales et historiques formalisées dans un algorithme²⁴.

Les approches procédurales qui encodent les hypothèses historiques dans des algorithmes ne se limitent aucunement au domaine des reconstitutions architecturales. Pour s'en convaincre, prenons une autre famille d'exemples, cette fois-ci centrée sur la modélisation des routes maritimes historiques. À nouveau, plusieurs projets ont montré non seulement la faisabilité, mais également la

²¹ Haegler S., Müller P., and Van Gool L. "Procedural Modeling for Digital Cultural Heritage." *EURASIP Journal on Image and Video Processing* 2009 (1).

²² Müller P., Wonka P., Haegler S., Ulmer A., and Van Gool L. "Procedural Modeling of Buildings." *ACM Trans. Graph.* 25 (3) (July), 2006, : 614–623. Voir aussi Haegler S., Wonka P., Müller Arisona P., Van Gool L., and Müller P. "Grammar-based Encoding of Facades." *Computer Graphics Forum* 29 (4), 2010, 1479–1487.

²³ Dylla M., Ulmer A., Haegler S., Frischer B. "Rome Reborn 2.0: a Framework for Virtual City Reconstruction Using Procedural Modeling Techniques." In *Proceedings of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, 2009

²⁴ Simulation de foules urbaines : D'autres projets incluent même de simulations de foules urbaines selon la même logique procédurale, par exemple dans les travaux de Maïm sur la simulation de la Pompéi ancienne (Maïm 2007). Dans ce projet les données sémantiques associées au système d'information géographique permettent de guider le comportement de personnages virtuels. À nouveau, c'est dans l'algorithme que les hypothèses historiques sont encodées.

fécondité de ce type d'approches. Tous se basent d'abord sur la constitution de grandes bases de données historiques²⁵.

Ces données peuvent ensuite être extrapolées de manière générative. Prenons ici un exemple issu de notre propre recherche sur la modélisation des routes maritimes vénitiennes durant le Moyen-Âge. L'étude des arts nautiques, les traités de navigation, l'étude des navires et bien sûr les recherches sur la circulation des biens ou des informations ont donné lieu à un grand nombre de monographies²⁶. Certains auteurs, comme Janni²⁷, Arnaud²⁸ ou Kowalski²⁹, ont proposé des segmentations des routes maritimes antiques, identifié leurs principales escales ainsi que leurs temps de parcours³⁰. En appliquant ces recherches aux routes maritimes vénitiennes et en les associant aux très riches informations disponibles dans les Archives d'État, une reconstitution fine des échanges en Mer Méditerranée est envisageable.

Certaines routes sont particulièrement bien documentées, notamment le système des galées du marché³¹ voyageant chaque année en convoi entre la fin du XIIIe siècle et le milieu du XVe siècle³². Sur ces trajets, il est possible à partir des données disponibles de tracer les itinéraires de chaque convoi, année après année. Néanmoins, les données des archives ne descendent pas en dessous d'une certaine précision dans la description des itinéraires. Par exemple, seules les escales commerciales obligatoires sont notées. Or il est extrêmement probable que les navires fassent des escales intermédiaires notamment en Mer Adriatique ou lors de recherches d'informations (présence de dangers, piraterie...). Si l'on souhaite aller à ce niveau de détails pour simuler, mois par mois, la position probable des navires, plusieurs hypothèses peuvent être proposées. Ces hypothèses se basent sur les connaissances recueillies sur la navigation de l'époque, mais, comme dans tout processus de recherche académique, elles peuvent différer les unes avec les autres,

²⁵ Base de données sur les routes maritimes : Le projet European CLIWOC (<http://www.ucm.es/info/cliwoc/cliwoc15.htm>) a construit une grande base de données à partir de l'étude des carnets de bord des navires français, anglais, espagnols et hollandais entre 1750 et 1850 en corrélation avec les données climatiques (García, R. and García-Herrera 2003, 2005). Les universités de Lyon, Sophia-Antipolis et de Brest ont créé une base de plus de deux millions de points géoréférencés, comme des ports, des étapes, des bateaux et des capitaines. La base Navigocorpus (<http://navigocorpus.hypotheses.org/>) recense des itinéraires entre le XVIIe et le XIXe siècle à partir des registres des ports. Enfin le projet Orbis (Scheidel et al., 2012) à Stanford a modélisé 751 zones urbaines et les routes maritimes les reliant dans l'Empire Romain (<http://orbis.stanford.edu>).

²⁶ Sottas J. *Les Messageries Maritimes de Venise Aux XIVe & XVe Siècles*. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1938. Voir aussi Hocquet, J-C. *Venise et la mer, XIIIe-XVIIIe siècle*. Paris: Fayard, 2006.

²⁷ Janni, P. *La Mappa e Il Periplo: Cartografia Antica e Spazio Odologico*. Pubblicazioni Della Facoltà Di Lettere e Filosofia. Bretschneider, 1984.

²⁸ Arnaud, P. *Les Routes de La Navigation Antique: Itinéraires En Méditerranée*. [Collection Des Hespérides]. Éditions Errance, 2005.

²⁹ Kowalski J-M. *Navigation et Géographie Dans L'antiquité Gréco-romaine, La Terre Vue de La Mer*. Paris: Picard, 2012.

³⁰ Duncan-Jones. "Giant Cargo Ships in Antiquity." *The Classical Quarterly* 27 (02), 1977, 331.

³¹ Le système de l'Incantato des galées du marché à Venise, appelé également « système des carats », est une préfiguration des sociétés par actions.

³² Doumerc B. *Venise et son empire en Méditerranée: IX-XVe siècle*. Paris: Ellipses, 2012.

notamment dans la part relative qu'elles accordent au cabotage ou à la navigation en haute mer. Ici, comme en architecture, il peut y avoir débat. Et dans le nouveau régime visuel des cartes géohistoriques, ce débat prend la forme d'algorithmes contradictoires qui encodent des trajets différents.

Ces exemples nous illustrent comment la cartographie en étendant le domaine de représentation de l'histoire effectue en même temps un déplacement du débat scientifique. Qu'il s'agisse de tracés de rues, de réseaux d'information, de modélisations architecturales, de flux commerciaux ou de trajets maritimes, les chercheurs ne peuvent plus se contenter de débattre linguistiquement avec des argumentaires et des raisonnements, mais en opposant dans le domaine cartographique leurs hypothèses appareillées sous la forme d'algorithmique.

Conclusion

Les algorithmes sont donc en train de s'inviter dans les sciences historiques par trois processus complémentaires : une éthique de la représentation imposant la transparence sur les modes de construction de données, un processus d'explicitation rétroactive nécessaire à l'interopérabilité des données et un processus d'extension dans lequel les hypothèses se formalisent pour être traduites cartographiquement. Il est trop tôt pour anticiper toutes les conséquences épistémologiques de ces trois processus. Quelles seront les effets épistémologiques de ce qui est finalement à la fois une formalisation et un changement d'échelle ? Est-ce le début d'une autre forme de sciences historiques où les algorithmes seraient devenus un média central pour construire une connaissance négociée du passé ? Comment cohabitera ce type de recherches avec les formes plus « traditionnelles » des études historiques ? Près de quarante ans après la prédiction d'Emmanuel Leroy Ladurie, il semblerait que le moment soit véritablement venu pour former une nouvelle génération d'historiens capable de formaliser leurs méthodes, d'exprimer leurs hypothèses et de négocier une vision cohérente du passé par l'intermédiaire des algorithmes.