

Modélisation des dynamiques spatiales

Rencontre de Doctorants en SHS

8 et 9 novembre 2006

Modélisation des dynamiques spatiales Rencontre de Doctorants en SHS

Maison de l'Orient et de la Méditerranée, 7, rue Raulin à Lyon

Programme du mercredi 8 novembre 2006

• matinée (9h30-12h30)

9h00 - 9h30	Accueil des participants
9h30 - 10h15 page 06	Inauguration de la rencontre Présentation du RTP MoDyS (E.Zadora-Rio, LAT UMR 6173 CITERES) Présentation du site http://www.modys.univ-tours.fr et de l'enquête en cours (X.Rodier, LAT UMR 6173 CITERES)

Communications : Modélisation et aménagement de l'espace

modérateur : Céline Rozenblat (Université de Lausanne)

10h15 - 10h35 page 08	Johnny Douvinet (UMR 6554 - Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique - Caen) : <i>Les apports de l'analyse spatiale à la connaissance et à la modélisation des risques hydrologiques - les bassins versants sensibles aux crues rapides (Nord du Bassin Parisien, France)</i>
10h35 - 10h40	Questions
10h40 - 11h00 page 14	Diego Moreno (UMR 5603 - SET : Société, Environnement Territoire) : <i>Influence de la structure des réseaux urbains sur l'évolution morphologique de la ville et la portée des politiques d'aménagement urbain</i>
11h00 - 11h05	Questions
11h05 - 11h25 page 19	Virginie Capizzi (EHESS-Centre de Recherche Historique, UMR 8558) : <i>Des fortifications de 1840 à l'annexion de 1860 : anticipations et comportements à Gentilly, commune de la banlieue parisienne coupée en deux</i>
11h25 - 11h30	Questions
11h30 - 12h00	Discussion sur les communications

Présentation de posters : Modélisation de la formation des territoires

modérateur : Laure Nuninger (UMR 6565 Laboratoire Chrono-Ecologie, Besançon)

12h00 - 12h05 page 24	Anne Casile (UMR 7528 Mondes iranien et indien) : <i>Le paysage archéologique et sacré d'un site en Inde centrale : la place du temple dans la formation culturelle et politique à l'époque médiévale (Ve-XIIIe s.)</i>
12h05 - 12h10 page 29	Virginie Crémades (Laboratoire MTG - CNRS FRE 2795 - I.D.E.E.S.) : <i>Dualités culturelles en Europe: une offre entre concurrence et coopération</i>
12h10 - 12h15 page 34	Célia Lagarde (UMR 6573 - Centre Camille Jullian): <i>Occupation de l'espace durant la protohistoire en Languedoc central : données archéologique et SIG</i>
12h15 - 12h30	Discussion sur les posters

12h30-13h30 Buffet sur place

• après-midi (13h30-18h00)

Communications : Modélisation multi-agents, systèmes de villes et aménagement urbain

modérateur : Joël Charre (UMR 6012 ESPACE, Avignon)

13h30 - 13h50 page 41	Jean-Marc Favaro (UMR 8504 - Géographie-Cités - Paris) : <i>Systèmes de villes et innovations : modélisation multi-agents et application au système des villes européennes (1950-2050)</i>
13h50 - 13h55	Questions
13h55 - 14h15 page 46	Camille Grivault (UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Dijon) : <i>Risques technologiques : localisation et aménagement urbain</i>
14h15 - 14h20	Questions
14h20 - 14h40 page 51	Aleksandra Barczak (UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Dijon) : <i>Risques hydrologiques et développement durable des espaces urbains</i>
14h40 - 14h45	Questions
14h45 - 15h15	Discussion sur les communications

Présentation de posters : Localisation, distances et accessibilité

modérateur : Stéphane Jaillet (UMR 5204 EDYTEM, Université de Savoie)

15h15 - 15h20 page 56	Adeline Bourgeaux (Laboratoire MTG - CNRS FRE 2795 - I.D.E.E.S.) : <i>Le cancer du sein en Grande Bretagne et en France : épidémiologie et offre de soins dans le Hampshire et en Haute-Normandie</i>
15h20 - 15h25 page 59	Luc Barruel (LADYSS et MSH paris Nord) : <i>Le SIG comme outil de connaissance et de gestion de l'accessibilité des espaces verts en milieu urbain et périurbain. L'Ile de France et comparaison internationale</i>
15h25 - 15h30	Faouzi Ghazzi (UMR 6130 - Centre d'Etude, Préhistoire, Antiquité, Moyen Age) : <i>La feuille 1/50000e de Zaouiet Medien (Tunisie). Etude archéologique à travers un SIG depuis la protohistoire jusqu'à la fin du Moyen Age</i>
15h30 - 15h45	Discussion sur les posters

15h45 - 16h15 Pause

Communications : Simulation et modélisation prédictive

modérateur : Patrice Langlois (FRE 2795 IDEES, Rouen)

16h15 - 16h35 page 64	Vincent Laperrière (UMR 5603 - SET : Société, Environnement Territoire) : <i>Modélisation multi-agents de l'expression spatiale de la peste à Madagascar</i>
16h35 - 16h40	Questions
16h40 - 17h00 page 70	Reine Maria Basse (UMR 6012 - ESPACE - Nice) : <i>La modélisation prédictive appliquée aux systèmes de transport</i>
17h00 - 17h05	Questions
17h05 - 17h20	Discussion sur les communications

17h20 - 18h30 Discussion générale

modérateurs : Frédérique Bertoncello (UMR 6130 CEPAM, Nice), Joël Charre (UMR 6012 ESPACE, Avignon), Jean-Jacques Delannoy (UMR5230 EDYTEM, Univ.Savoie), François Favory (UMR 6565 Laboratoire Chrono-Ecologie, Besançon)

Programme du jeudi 9 novembre 2006

• **matinée (8h30-12h45)**

Communications : Modélisation des paysages et des pratiques agro-pastorales

modérateur : Christine Rendu (UMR 5136 FRAMESPA, Toulouse)

8h30 - 8h50 page 75	Pierre-Olivier Mazagol (UMR 5600 - Centre de recherche sur l'environnement et l'aménagement) : <i>Etude de l'organisation du couvert végétal des Hautes Chaumes du Forez : un exemple d'utilisation de l'algorithme PEGASE sur le secteur tourbeux de Gourgon-Bazanne</i>
8h50 - 8h55	Questions
8h55 - 9h15 page 80	Mélanie Le Couédic (UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires) : <i>Les pratiques de l'espace pastoral dans la longue durée : modélisation des parcours de troupeaux dans la haute montagne pyrénéenne</i>
9h15 - 9h20	Questions
9h20 - 9h40 page 85	Florian Tolle (UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Besançon) : <i>Paysage et risque sanitaire : le cas de l'echinococcose alvéolaire, approche multiscalaire</i>
9h40 - 9h45	Questions
9h45 - 10h15	Discussion sur les communications

Présentation de posters

modérateur : Xavier Rodier, LAT UMR 6173 CITERES, Tours

10h15 - 10h20 page 88	Dominique Baud (UMR 5204 - EDYTEM) : <i>Cadastres et territoires. Utilisation des archives cadastrales pour la gestion des ressources patrimoniales dans le cadre du développement durable des territoires transfrontaliers (Savoie, Haute Savoie, Piémont)</i>
10h20 - 10h25 page 93	Marc Conesa (EA3022, Montpellier) : <i>Modélisation de l'espace villageois en Cerdagne à travers l'étude des parcerias (baux à cheptel) entre le XIIIe et le XVIIIe s.</i>
10h25 - 10h30 page 100	Thomas Jarry (UMR 6577 - Centre Michel de Bouïard - CRAHM) : <i>Hommes et territoires dans la Plaine de Caen au Moyen Age : structurations et dynamiques spatiales</i>
10h30 - 10h45	Discussion sur les posters

10h45 - 11h15 Pause

Communications : Modélisation des paysages et des pratiques agro-pastorales (suite)

modérateur : Laure Saligny (UMS 2739, MSH Dijon)

11h15 - 11h35 page 109	Nicolas Poirier (UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires) : <i>Modélisation de l'évolution de l'exploitation du sol dans la région de Sancerre (Cher)</i>
11h35 - 11h40	Questions
11h40 - 12h00	Thao Tran (UMR 8564 - Modélisation, Analyse Spatiale, SIG) : <i>Les mangroves du Delta du Mékong (Viet-Nam) entre guerre et paix : approche biogéographique et géohistorique</i>
12h00 - 12h05	Questions
12h05 - 12h25	Discussion sur les communications

Présentation de posters : Modélisation du paléoenvironnement

modérateur : Olivier Barge (FR 538, MOM, Lyon)

12h25 - 12h30 page 114	Benjamin Sadier (UMR 5204 - EDYTEM) : <i>Etudes géomorphologiques de l'environnement de la grotte Chauvet (Ardèche). Apport des représentations et modélisations 3D aux connaissances paléogéographiques et paléoenvironnementales du cirque d'Estre</i>
12h30 - 12h35 page 119	Anne Le Flao (UMR 5602 - GEODE : Géographie de l'Environnement) : <i>20 000 ans d'histoire de la végétation pyrénéenne. Reconstitution biogéographique à partir de la spatialisation des données paléoenvironnementales et archéologiques</i>
12h35 - 12h45	Discussion sur les posters

12h45 - 14h00 Buffet sur place

• après-midi (14h00-17h00)

Communications : Modélisation 3D dans l'analyse urbaine et l'étude de l'habitat rural

modérateur : Lahouari Kaddouri (UMR 6012 ESPACE, Avignon)

14h00 - 14h20 page 124	Marie Sévenet (UMR 6012 - ESPACE - Nice) : <i>Les apports de la troisième dimension dans les problématiques d'aide à la décision</i>
14h20 - 14h25	Questions
14h25 - 14h45 page 129	Bastien Lefebvre (UMR 6173 CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires) : <i>Formation et transformation d'un tissu urbain. De l'amphithéâtre antique au quartier canonial dans la Cité de Tours (5e-18e s.)</i>
14h45 - 14h50	Questions
14h50 - 15h10 page 136	Florence Escande (UMR 5136 - FRAMESPA) : <i>Paysages, peuplements médiévaux et troisième dimension : l'habitat dispersé de la Haute vallée du Lot et méthodes informatiques (SIG et imagerie 3D)</i>
15h10 - 15h15	Questions
15h15 - 15h45	Discussion sur les communications

15h45 - 16h30 Conclusions et perspectives

modérateurs : Jean-Jacques Delannoy (UMR 5204 - EDYTEM, Univ.Savoie), François Favory (UMR 6565 Laboratoire Chrono-Ecologie, Besançon), Elisabeth Zadora-Rio (LAT UMR 6173 CITERES)

15h45 - 16h30 Conclusions

Michel Florenzano, Directeur scientifique adjoint du département SHS

Listes des participants

Doctorants				
Aleksandra	Barczak	UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Dijon	Dijon	aleksandra.barczak@u-bourgogne.fr
Luc	Barruel	Laboratoire Dynamiques Sociales et Recomposition des Espaces	Paris	luc.barruel@free.fr
Reine Maria	Basse	UMR 6012 - ESPACE - Nice	Nice	reinemaria@hotmail.com
Dominique	Baud	UMR 5204 - EDYTEM	Chambéry	Dominique.Baud@etu.univ-savoie.fr
Adeline	Bourgeaux	FRE 2795 - I.D.E.E.S.	Rouen	adelinebourgeaux@yahoo.fr
Virginie	Capizzi	UMR 8558 - Centre de Recherche Historique	Paris	virginie.capizzi@laposte.net
Anne	Casile	UMR 7528 Mondes iranien et indien	Ivry-sur-Seine	casila@hotmail.com
Marc	Conesa	EA 3022 - Centre d'Histoire Moderne et Contemporaine de l'Europe Méditerranéenne et ses Périphéries	Montpellier	marc.conesa@voila.fr
Virginie	Crémades	FRE 2795 - I.D.E.E.S.	Rouen	virginie.cremades@free.fr
Johnny	Douvinet	UMR 6554 - Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique - Géophen	Caen	johnny.douvinet@unicaen.fr
Florence	Escande	UMR 5136 - FRAMESPA (France Méridionale Espagne)	Toulouse	f.escande@wanadoo.fr
Jean-Marc	Favaro	UMR 8504 - Géographie-Cités - Paris	Paris	jmfavaro@yahoo.fr
Camille	Grivault	UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Dijon	Dijon	Camille.grivault@u-bourgogne.fr
Thomas	Jarry	UMR 6577 - Centre Michel de Boüard - Centre de recherches archéologiques et historiques médiévales (CRAHM)	Caen	t.jarry@wanadoo.fr
Célia	Lagarde	UMR 6573 - Centre Camille Jullian	Aix-en-Provence	celia.lagarde@free.fr
Vincent	Laperrière	UMR 5603 - SET (Société, Environnement Territoire)	Pau	vincent_laperriere@yahoo.fr
Mélanie	Le Couédic	UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires	Tours	melanie.couedic@numericable.fr
Anne	Le Flao	UMR 5602 - GEODE (Géographie de l'Environnement)	Toulouse	anne.leflao@wanadoo.fr
Bastien	Lefebvre	UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires	Tours	bastienlefebvre@wanadoo.fr
Pierre-Olivier	Mazagol	UMR 5600 - Centre de recherche sur l'environnement et l'aménagement	Saint-Étienne	pierre.olivier.mazagol@univ-st-etienne.fr
Diego	Moreno	UMR 5603 - SET (Société, Environnement Territoire)	Pau	diego.moreno.sierra@gmail.com
Nicolas	Poirier	UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires	Tours	nico.poirier18@wanadoo.fr
Benjamin	Sadier	UMR 5204 - EDYTEM	Chambéry	gros.nad@caramail.com
Marie	Sévenet	UMR 6012 - ESPACE - Nice	Nice	marivenet@hotmail.com
Florian	Tolle	UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Besançon	Besançon	florian.tolle@univ-fcomte.fr

Modérateurs				
Olivier	Barge	FR 538 - Maison de l'Orient Méditerranéen	Lyon	olivier.barge@mom.fr
Frédérique	Bertoncello	UMR 6130 - Centre d'Etude, Préhistoire, Antiquité, Moyen Age	Nice	fberton@cepam.cnrs.fr
Joël	Charre	UMR 6012 ESPACE	Avignon	joel.charre@univ-avignon.fr
Jean-Jacques	Delannoy	UMR 5204 - EDYTEM	Chambéry	jean-jacques.delannoy@univ-savoie.fr
François	Favory	UMR 6565 - Laboratoire de Chrono-Ecologie	Besançon	francois.favory@univ-fcomte.fr
Stéphane	Jaillet	UMR 5204 - EDYTEM	Chambéry	stephane.jaillet@univ-savoie.fr
Thierry	Joliveau	UMR 5600 CRENAM	Saint-Etienne	thierry.joliveau@univ-st-etienne.fr
Lahouari	Kaddouri	UMR 6012 ESPACE	Avignon	lahouari.kaddouri@gmail.com
Patrice	Langlois	FRE 2795 IDEES	Rouen	patrice.langlois@univ-rouen.fr
Hélène	Mathian	UMR 8504 Géographie-cités	Paris	mathian@parisgeo.cnrs.fr
Laure	Nuninger	UMR 6565 - Laboratoire de Chrono-Ecologie	Besançon	laure.nuninger@mti.univ-fcomte.fr
Christine	Rendu	UMR 5136 - FRAMESPA (France Méridionale Espagne)	Toulouse	christine.rendu@univ-tlse2.fr
Xavier	Rodier	UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires	Tours	xavier.rodier@univ-tours.fr
Céline	Rozenblat	Université de Lausanne	Lausanne	celine.rozenblat@unil.ch
Laure	Saligny	MSH Dijon - UMS 2739	Dijon	laure.saligny@u-bourgogne.fr
Elisabeth	Zadora-Rio	UMR 6173 - CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires	Tours	elisabeth.zadora-rio@univ-tours.fr

Le Réseau Thématique Pluridisciplinaire Modélisation et Dynamiques Spatiales (MoDyS), créé par la direction du département SHS pour une durée de trois ans, est un outil d'assistance à la politique scientifique et une instance chargée d'émettre des propositions pour favoriser le développement de la modélisation spatiale en SHS et renforcer les collaborations interdisciplinaires. Il a également pour mission de favoriser la diffusion et le partage des concepts, des modèles et des outils de l'analyse spatiale appliquée à la recherche sur les sociétés du passé et du présent. Le Réseau Thématique Pluridisciplinaire MoDyS souhaite jouer un rôle d'interface entre les réseaux existants dans les différentes disciplines des SHS.

Ses objectifs sont les suivants :

- faire un état des lieux
- faire remonter à la direction scientifique du département SHS des propositions en termes d'investissements et de politique de l'emploi
- répondre aux demandes d'expertise ou d'enquête de la direction scientifique
- faire émerger des projets susceptibles de répondre à des appels d'offres nationaux ou internationaux, et aider à leur formalisation
- organiser des rencontres périodiques de doctorants travaillant dans la thématique du réseau
- organiser ou susciter des séminaires, ateliers ou colloques interdisciplinaires
- susciter et promouvoir des offres de formation continue pour les chercheurs et les ITA
- favoriser la mobilité, nationale et internationale, des chercheurs, doctorants et post-doctorants dans les laboratoires.

Les activités du RTP sont présentées sur le site web <http://modys.univ-tours.fr>

RESPONSABLE DU RTP :

Elisabeth Zadora-Rio, DR CNRS, UMR 6173 CITERES, Laboratoire Archéologie et Territoires, MSH Villes et Territoires, Tours

MEMBRES DU BUREAU :

Olivier Barge, ingénieur d'études CNRS, FR 538, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon

Frédérique Bertoncello, chargée de recherches CNRS, UMR 6130 CEPAM, MSH Nice

Jean-Yves Blaise, chargé de recherches CNRS, UMR 694 MAP, Marseille

Joël Charre, professeur Université d'Avignon, UMR 6012 ESPACE, Avignon

Jean-Jacques Delannoy, professeur Université de Savoie, UMR 5204, Environnement, Dynamiques et Territoires de Montagne (EDYTEM), Le Bourget du Lac

François Favory, professeur Université de Franche-Comté, UMR 6565 Laboratoire de Chrono-Ecologie, MSH Claude-Nicolas Ledoux, Besançon

Stéphane Jaillet, ingénieur de recherches CNRS, UMR 5204, Environnement, Dynamiques et Territoires de Montagne (EDYTEM), Le Bourget du Lac

Thierry Joliveau, maître de conférence Université de Saint-Etienne, UMR 5600 Environnement, ville, société (EVS), Saint-Etienne

Lahouari Kaddouri, maître de conférence Université d'Avignon, UMR 6012 ESPACE, Avignon

Hélène Mathian, ingénieur d'études CNRS, UMR 8504 Géographie-cités, Paris

Laure Nuninger, chargée de recherches CNRS, UMR 6565 Laboratoire de Chrono-Ecologie, MSH Claude-Nicolas Ledoux, Besançon

Christine Rendu, chargée de recherches CNRS, UMR 5136 FRAMESPA, MSH Toulouse

Xavier Rodier, ingénieur de recherches CNRS, UMR 6173 CITERES, Laboratoire Archéologie et Territoires, MSH Villes et Territoires, Tours

Céline Rozenblat, professeure Université de Lausanne, Institut de géographie

Laure Saligny, assistante ingénieure, Université de Bourgogne, UMS 2739, MSH Dijon

Philippe Soulier, ingénieur de recherches CNRS, UMR 7041 ArSCAn, Maison de l'Archéologie et de l'Ethnologie, Nanterre

Frédéric Trément, professeur Université de Clermont-Ferrand, MSH Clermont-Ferrand

INTRODUCTION

Elisabeth Zadora-Rio

Le Réseau Thématique Pluridisciplinaire Modélisation et Dynamiques Spatiales (MoDyS), a été créé en juillet 2005 par la direction scientifique du département SHS du CNRS. Les deux missions principales qui lui ont été assignées sont, d'une part, d'être un outil d'assistance à la politique scientifique; d'autre part, de promouvoir les collaborations interdisciplinaires en SHS et de favoriser le développement de la modélisation spatiale appliquée à la recherche sur les sociétés du passé et du présent.

La rencontre interdisciplinaire de doctorants qui s'est tenue les 8 et 9 novembre 2006 s'inscrit dans cette perspective. Vingt-huit doctorants - géographes, aménageurs, archéologues, historiens, environnementalistes- issus de vingt laboratoires différents, ont participé à cette rencontre.

La place de la modélisation spatiale dans les différentes disciplines des SHS est évidemment fonction du lien plus ou moins fort qu'elles entretiennent avec l'espace. Les géographes, qui sont les concepteurs de l'essentiel des outils, et qui animent les débats méthodologiques à travers des congrès et des revues spécialisés, y jouent naturellement un rôle de premier plan. Ils ont ouvert la voie aux archéologues, dont les données sont, par nature, localisées, et qui ambitionnent depuis longtemps d'être les géographes du passé. Les méthodes d'analyse spatiale élaborées par les géographes se sont répandues chez les archéologues dès les années 70, mais le phénomène a pris une ampleur nouvelle dans les années 90 avec l'engouement suscité par les SIG. La création du réseau inter-MSH ISA (Information spatiale et archéologie), en 2001, a eu un effet structurant sur la discipline à travers l'organisation de séminaires et d'Ecoles thématiques.

L'intérêt pour la spatialité s'est diffusé par capillarité dans d'autres disciplines avec lesquelles l'archéologie entretient des relations privilégiées, notamment l'histoire et les sciences du paléoenvironnement.

Jusqu'à très récemment, l'espace ne constituait pas un objet de recherche pour les historiens. Le référencement géographique des mentions textuelles qu'ils utilisaient n'était pas fondamental, et ils ne s'interrogeaient guère sur la représentativité spatiale des sources écrites. Des colloques récents, ainsi que les numéros thématiques consacrés aux SIG par les revues *Histoire et Mesure* (2004) et *Le Médiéviste et l'ordinateur* (2006) témoignent d'une évolution dans ce domaine : les phénomènes historiques sont désormais, plus que par le passé, analysés selon leur composante spatiale.

C'est sans doute également la collaboration avec les archéologues qui a conduit les spécialistes du paléoenvironnement à changer d'échelle et à s'intéresser à la caractérisation des activités humaines. Les palynologues s'attachent ainsi à donner une meilleure résolution spatiale et temporelle aux données polliniques en multipliant les prélèvements et en travaillant sur de petites tourbières qui enregistrent la végétation locale.

Les outils de l'analyse spatiale, et tout particulièrement les Systèmes d'information géographique, jouent un rôle intégrateur : ils sont de puissants vecteurs de l'interdisciplinarité, dans la mesure où ils obligent à structurer des données multi-sources dans un même système d'information, et donc à définir leur échelle, leur représentativité et leur résolution afin de pouvoir les croiser avec celles d'autres disciplines.

L'objectif de cette rencontre était de permettre aux doctorants, qui représentent l'avenir de la recherche, de confronter leurs sources et leurs analyses à celles d'autres disciplines et d'approfondir leurs questionnements autour d'outils communs. Elle a été préparée par le bureau du RTP MoDyS, et rendue possible grâce à des concours multiples. Nous remercions la direction scientifique du département SHS qui l'a financée, ainsi que la Maison de l'Orient Méditerranéen à Lyon qui a bien voulu l'accueillir dans ses locaux. Notre gratitude va également aux géographes et aux archéologues qui ont accepté de présider les séances et d'animer les débats, et qui ont assuré ainsi la réussite de cette rencontre. Nous remercions, enfin, Olivier Barge, Xavier Rodier, Monique Ségura et Stéphane Jaillot qui ont pris en charge l'organisation matérielle de ces journées.

SIMULATION DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE PROCESSUS HYDROLOGIQUES – L'EXEMPLE DES CRUES RAPIDES DU NORD DE LA FRANCE (BASSIN PARISIEN)

Johnny Douvinet

Doctorant au Laboratoire GEOPHEN (Géographie Physique en Environnement) – LETG UMR 6554 CNRS
Université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix BP 5186, 14032 CAEN Cedex 2

Résumé du sujet de thèse

Titre de thèse : Les apports de l'analyse spatiale à la connaissance et la modélisation des risques hydrologiques – les bassins versants sensibles aux crues rapides (Nord du Bassin Parisien, France).

Directeur de la thèse : Daniel Delahaye (Université de Caen BN).

Financement : Bourse doctorale incluse dans le programme ACI « *Systèmes Complexes en SHS* » (2004-2007) intitulé « *Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes : les bassins sensibles aux crues rapides du Nord de la France* » (responsable scientifique : Daniel Delahaye).

Résumé : Les régions de grandes cultures du Nord de la France sont largement touchées par les processus de ruissellement, d'érosion et d'inondation. Les catastrophes liées à l'eau ont atteint une ampleur jusqu'à ce jour inconnue. Les coulées de boues qui affectent les vallons secs des plateaux limoneux constituent aujourd'hui la forme la plus dangereuse des inondations en raison de leur caractère torrentiel. Les travaux récents ont montré toute l'importance de l'organisation morphologique des bassins versants dans le fonctionnement de ce type de phénomènes. La vitesse de concentration de l'écoulement rapide est principalement liée à la combinaison entre le système de pente, l'organisation des réseaux de thalwegs et la forme du bassin versant. Cette combinaison forme l'unité physique « bassin versant » qui est un système spatial complexe. Actuellement il n'existe pas de méthode de mesure synthétique de l'organisation spatiale de ces combinaisons et de son incidence sur le fonctionnement hydrologique des bassins. Toutes les approches quantitatives conventionnelles se limitent en effet à des mesures séparées des composantes du système (indices de compacité, rapport de confluence d'Horton, profil en long, courbe hypsométrique). Le travail de thèse se propose donc, en s'appuyant sur la théorie des systèmes complexes, de développer des méthodes permettant de quantifier la structuration en trois dimensions du système bassin versant. Les objectifs sont de fournir de nouveaux moyens d'analyse du fonctionnement des phénomènes d'inondations rapides, mais également d'améliorer la qualité des entrées morphologiques des modèles hydrologiques. (www.unicaen/geographie/ufir/geophen/doctorant/douvinet.html).

Résumé de la communication

Les crues rapides apparaissent fréquemment sur les vallons secs des régions de grande culture. Ces phénomènes se caractérisent par des écoulements violents donnant lieu à une montée des eaux et une propagation de l'onde de crue extrêmement rapides (<1h). L'intensité de la pluie constitue le facteur principal d'explication de ces crues (>50mm en quelques heures). Toutefois, comme l'attestent de nombreux événements, l'organisation morphologique des bassins versants (<40km²) est prépondérante sur le fonctionnement et la dynamique spatiale des processus hydrologiques de surface induits. Actuellement, il n'existe aucun outil pour modéliser les effets de la morphologie. En s'appuyant sur la théorie des systèmes complexes et notamment les automates cellulaires, ce travail se propose de développer des méthodes permettant de quantifier de manière globale et dynamique l'influence de la structure spatiale du bassin versant. Les objectifs sont : i) de fournir de nouveaux moyens d'analyse de l'incidence de ce système morphologique, perçu ici comme la résultante des interactions entre les éléments constituant la structure du bassin (forme, pentes et réseaux hydrographiques); ii) de mieux comprendre son rôle dans la dynamique des phénomènes d'inondations rapides; iii) d'apporter des outils d'aide à la connaissance et la gestion du risque inondation, en localisant notamment les "zones morphologiques fonctionnelles" propices à déclencher des écoulements concentrés rapides et violents.

Introduction : Le contexte de recherche

Les crues rapides liées à de violents orages sont devenues en l'espace de quelques années les processus hydrologiques les plus dangereux affectant les régions de plateaux du Bassin Parisien. Ces crues se caractérisent par des écoulements apparaissant très violemment, avec une montée des eaux et une diffusion des écoulements très rapides (<1h). Les débits spécifiques sont très importants au sein de bassins versants dont la plupart ont une taille inférieure à 40km² (Delahaye, 2002). Ces régions de grande culture du Nord de la France subissent régulièrement les assauts de ces crues, que ce soit sur les plateaux du Pays de Caux en Seine-Maritime (9 juin 1993, 16 juin 1997 ; 13 mai 1998 ; 9 mai 2000), sur les collines de l'Artois dans le Pas de Calais (6 juin 1998 ; 28 août 2002), sur les plateaux crayeux de l'Aisne (18 mai 1993, 7 juillet 2001) ou de l'Eure (5 août 1997), voire même dans la partie orientale du Calvados (1^{er} juin 2003). L'évolution de l'occupation du sol a longtemps été la première variable incriminée. Son rôle est plus qu'évident, en particulier à cause de l'érosion des sols qui fournit la majorité des sédiments alimentant la turbidité des écoulements. La plupart des recherches abordant cette thématique considèrent ainsi qu'il s'agit avant tout d'une manifestation exacerbée du ruissellement érosif (Ludwig, 1995 ; Auzet et al., 1995 ; Cerdan et al., 2002). Des travaux récents (Delahaye, 2002 ; Douvinet et al., 2006-b) ont toutefois montré à quel point la morphologie des bassins versants est la composante principale dans la genèse de ces crues particulièrement rapides, d'autant plus que les cultures ne prédominent pas toujours. En effet, on répertorie seulement 22 % de terres cultivées pour le bassin de Saint Martin de Boscheville (crue du 16 juin 1997), 60 % de prairies et bois dans les bassins en amont de Trouville-Deauville (crue du 1^{er} juin 2003), ou encore 19 % de terres cultivées dans le bassin de Petit Appeville (crue du 28 juin 2005). L'occupation des sols ne joueraient donc qu'un second rôle en aggravant les apports en matériaux solides et en accentuant le pouvoir érosif des écoulements.

Problématique géographique

Bien que les relations entre la morphologie des bassins et leur réponse hydrologique aient été soulignées depuis longtemps (Gravelius, 1914 ; Horton, 1945 ; Beven et Woods, 1982), et même si les progrès de la science au XX^{ème} siècle ont fourni de nombreuses méthodes avec des applications nombreuses et variées, ces outils d'analyse ne sont pas adéquats pour notre étude. Le poids de la morphologie n'a en effet jamais été approché à travers un indicateur qui soit à la fois synthétique et dynamique (Delahaye, 2002). Le bilan établi sur plus de 57 indices tirés des ouvrages hydrologiques de référence s'avère particulièrement négatif : il n'existe aucune méthode de mesure de l'organisation et de la dynamique potentielle d'un bassin versant. La cinématique des crues y reste aussi méconnue car elles apparaissent au sein de petits « vallons secs » présentant l'originalité de ne pas avoir de cours d'eau permanent (Auzet et al., 1995). Ce manque de données hydrologiques nous oblige à recourir à des outils de modélisation. Le but de cette étude n'est pas de retrouver les débits réels (=modélisation), mais plutôt de comprendre la genèse et la dynamique des processus induits par la morphologie (=simulation). L'idée est de mieux saisir l'incidence de la topographie sur les écoulements de surface des bassins où une crue rapide a été observée. Nous nous sommes également tournés vers des outils d'analyse spatiale s'inscrivant dans le champ des systèmes complexes car le jeu des interactions locales entre la structure du bassin et les processus hydrologiques semble être à l'origine de l'émergence de la réponse hydrologique (phénomène dynamique à grande échelle) et pourrait expliquer en partie la complexité du comportement des bassins versants.

Développements méthodologiques

Dans le cadre d'un premier travail, un automate cellulaire avait été utilisé pour modéliser le poids de l'organisation spatiale des composantes morphologiques des bassins sur le ruissellement (Langlois et Delahaye, 2002). La principale difficulté était de lier les variables topographiques - altitude et ses dérivées - aux variables hydrauliques - la direction des écoulements sur les cellules par exemple. Le concept classique d'Automate Cellulaire [AC] (tel que défini par Wolfram, 1983, 2002) a dû être généralisé pour pouvoir modéliser à la fois la structure variable des éléments de terrain et la connectique entre les cellules. Les liens d'écoulements ne sont plus guidés uniformément par la topologie de voisinage du réseau cellulaire, mais par les liens structurant la

surface. La démarche s'appuie ainsi sur un automate cellulaire dont les cellules sont de formes et de dimensions variables (point, ligne, surface) et dont les liens traduisent la structure morphologique de la surface (Delahaye et al., 2001). L'automate *Ruicells* a donc une structure combinant le traditionnel formalisme d'un AC, dans lequel les règles de transition dictent la manière dont évoluent les différentes cellules en fonction des états des cellules voisines, et les nombreuses transformations requises pour la simulation de processus hydrologiques (Depraetere et Moniod, 1991 ; Tarboton et al., 1997). L'automate ayant été modifié pour répondre à une problématique géographique, il est possible de l'intégrer dans la catégorie des « Automates Cellulaires Géographiques » (ACGs) conformément à la récente définition donnée par Ménard et Marceau (2006).

Les règles de transition et la structure du maillage sont plus largement détaillées dans Langlois et Delahaye (2002). Fait original, l'automate offre la possibilité de faire transiter de cellule en cellule, via les axes d'écoulement définis par le graphe, n'importe quel type de données quantitatives. Dans le cadre de cette étude, la surface sera la principale variable étudiée et d'autres variables seront ensuite implémentées (pluies, occupation du sol, coefficients de ruissellement,...etc). Une cartographie dynamique permet dans un premier temps de suivre la quantité de surface transitant à chaque itération de cellule en cellule. Les résultats montrent toute l'importance de la place et de l'organisation spatiale des cellules au sein de bassins versants présentant des configurations spatiales différentes. La dernière carte présente le cumul des surfaces rapporté en gamme de couleurs par rapport à la surface totale du bassin à la fin de la simulation (Fig. 1). Elle permet de bien identifier les zones de concentration et les axes d'écoulement par où transitent les surfaces.

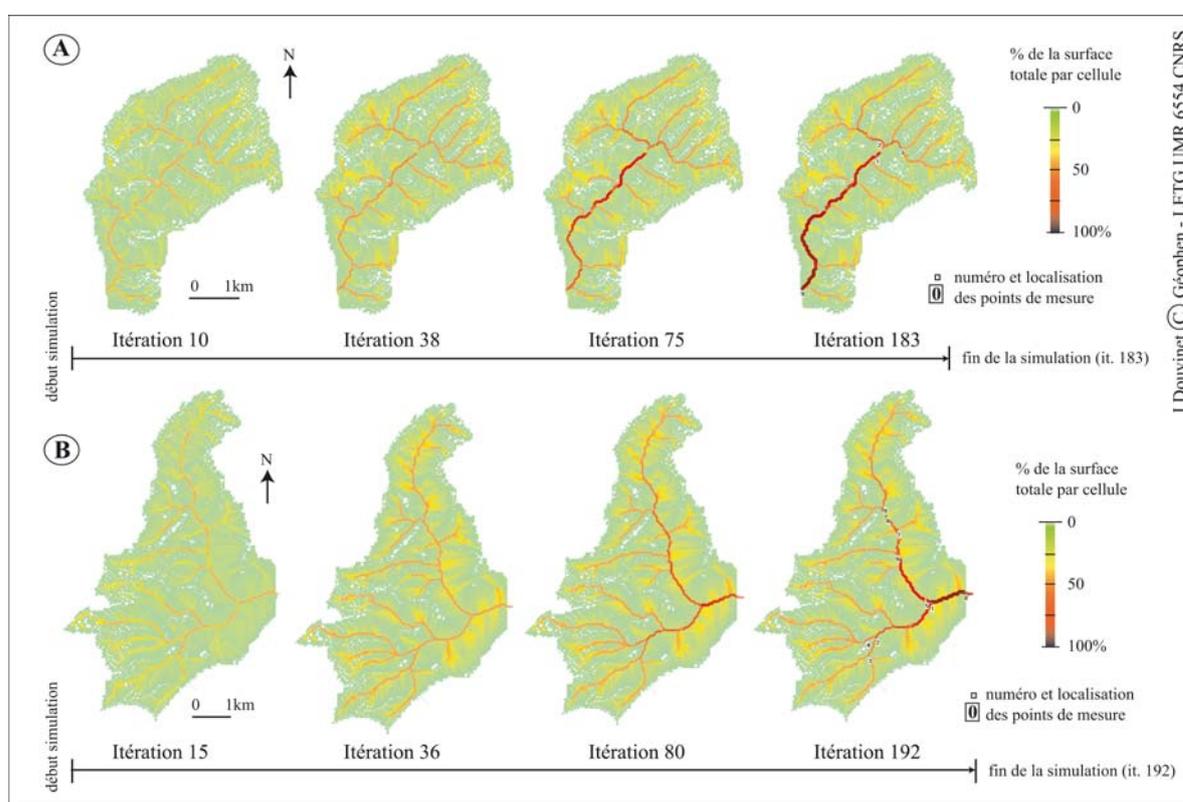
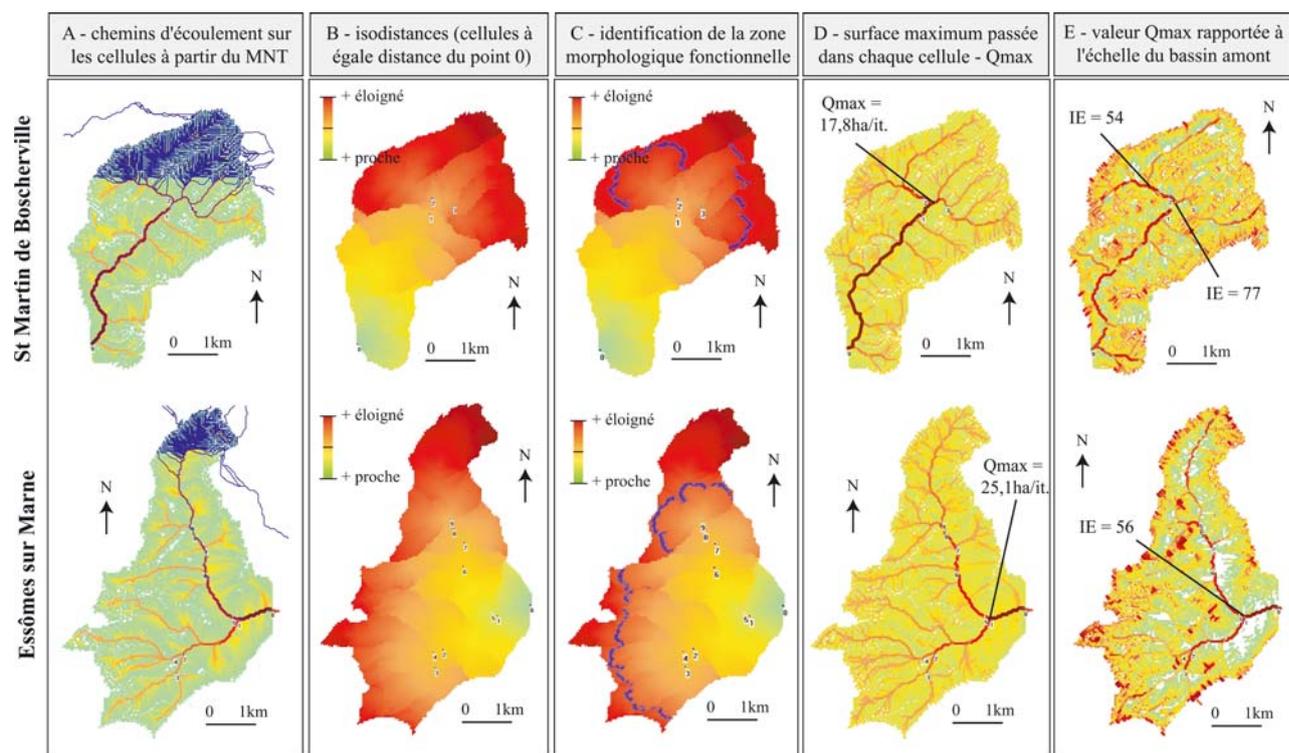


Fig. 1 – Simulation du transit de la « surface » pour deux bassins présentant des configurations spatiales très différentes à différentes itérations : **A** – St Martin de Boscherville (13,4km²) ; **B** – Essômes sur Marne (21,4km²).

Des réponses différentes vont apparaître suivant l'organisation spatiale interne des bassins. De manière générale, les bassins sont très réactifs lorsque les surfaces sont fortement connectées entre elles au sein d'une forme arrondie et compacte. En revanche, la réponse surfacique devient moins importante et le temps de la simulation s'allonge quand les cellules sont connectées au sein d'une forme allongée. La connectivité et la structuration hiérarchique entre les surfaces jouent un rôle prépondérant ; les réponses mesurées à l'exutoire sont ainsi révélatrices de l'efficacité hydrologique avant tout déterminée par l'organisation des cellules plus que par la surface des bassins versants (Douvinet et al., 2006-a). Des mesures hydrologiques simples viennent compléter

ces observations. La distance que vont parcourir les surfaces, T_c , soit le « temps de concentration », ou le débit maximum de surface ($=Q_{max}$), soit l'équivalent de la « pointe de débit » souvent utilisée en hydrologie, sont calculées sur chacune des cellules. Des cartes en isodistances identifient les cellules situées à égale distance de l'exutoire (par le calcul du chemin le plus court – Fig. 2A). Elles fournissent des informations sur la topologie du réseau au sein d'un bassin (Fig. 2B). La zone morphologique fonctionnelle à l'origine du Q_{max} mesuré à l'exutoire peut également être localisée (Fig. 2C). D'un autre côté, les valeurs de Q_{max} sont cartographiées. Sur le bassin d'Essômes, c'est à la confluence finale que la valeur Q_{max} est atteinte (Fig. 2D). En revanche, sur St Martin de Boscherville, la valeur était déjà atteinte dans la partie amont, ce qui montre à quel point cette partie est très efficace puisqu'elle explique à elle seule la valeur obtenue à l'exutoire. Les valeurs de Q_{max} étant fortement dépendantes de la taille des bassins, nous proposons de créer un indice d'efficacité (IE) rapportant la valeur Q_{max} par la surface amont [$IE = Q_{max}(i) / \sqrt{A}(i)$]. Les fortes valeurs permettent de comparer l'efficacité spatiale sans considérer l'effet de taille (Fig. 2E).



J.Douvinet © Géophen - LETG UMR 6554 CNRS

Fig. 2 – Evaluer l'influence de l'organisation spatiale sur la dynamique des processus hydrologiques à travers différentes cartes dynamiques : calcul du chemin le plus court, cartes des isodistances, calcul du Q_{max} sur chaque cellule et indice IE pour les deux bassins versants de St Martin de Boscherville et Essômes sur Marne.

Conclusion : La place des simulations dynamiques en géomorphologie

Les simulations démontrent dans le cadre de cette étude que les entités composant la structure interne d'un bassin versant contribuent à son fonctionnement global. La réponse hydrologique forme dans ce cas un tout cohérent dont la dynamique est intimement liée à la dynamique des entités existant à une échelle inférieure et qui jusqu'alors ne pouvait être expliquée par la seule analyse de la dynamique se déroulant à l'échelle globale du système. La notion de « bassin versant » est ainsi remise en cause. Bien souvent, comme dans le cas de St Martin, la valeur Q_{max} est déjà atteinte dans les parties amont (Fig. 2D). Les résultats confirment la forte relation entre les composantes morphologiques (la forme du bassin, les pentes et la structure du réseau hydrographique) et les processus hydrologiques, mais apportent surtout des informations quant à l'efficacité de certaines configurations spatiales. Les « zones morphologiques fonctionnelles » étant facilement identifiées par les différentes simulations dynamiques, il devient possible de comparer le potentiel surfacique de ces bassins avec la localisation des dommages observés lors du passage des crues rapides (Douvinet et al. 2006-b).

Des approches similaires se retrouvent aujourd'hui dans de nombreux travaux s'inscrivant dans le champ théorique des systèmes complexes. De telles applications restent toutefois encore peu développées en géographie physique. En effet, bien que la structure des ACs existe depuis longtemps, à l'origine développée par Von Neumann en 1951 (Gardner, 1970) puis popularisée par le *Jeu de la Vie* de John Conway (1970), son utilisation en géomorphologie connaît un essor depuis quelques années seulement (Coulthard et al. 2005 ; Fonstad, 2006). Les premières applications se sont attachées à spatialiser la diffusion des dunes, des feux de forêts ou des mouvements de terrain. Plus récemment, des automates ont été complètement modifiés pour simuler la dynamique de processus hydrologiques et sédimentaires (Crave et Davy, 2001 ; Jimenez-Hornero et al., 2004 ; Dmitriev et al., 2006), de chenaux à tresse, de coulées de boue voire de laves torrentielles (Crisci et al., 2003). Les efforts doivent se poursuivre afin de développer des automates utilisant un langage commun propre à tous les ACs, et ce quelque soit les modifications apportées à la structure ou aux règles de voisinage. Malgré la diversité des phénomènes étudiés, la variété des outils d'analyse, les changements d'échelles des niveaux d'observations, et la multitude des interactions spatiales, ces outils s'inscrivent en effet dans un cadre interdisciplinaire très large impliquant une réflexion dont les intérêts sont avant tout d'ordre méthodologique.

Bibliographie

- Anderson R. (1990) – Eolian ripples as examples of self-organization in geomorphological systems. *Earth-Science Reviews*, 29 (1–4), pp. 77–96.
- Auzet A.-V., Boiffin J., Ludwig B. (1995) – Erosion hydrique dans les bassins versants agricoles des régions limoneuses du nord-ouest de la France. *Annales de Géographie*, n° 281/282, pp. 187-190.
- Beven K., Woods E.F. (1983) – Catchments geomorphology and the dynamic of runoff contributing areas. *Journal of hydrology*, 39, pp. 139-150.
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Bourennane H., Souchère V. (2002) – Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil & Tillage Research*, vol. 67, pp. 99-108.
- Coulthard T.J., Lewin J., Macklin M.G. (2005) – Modelling differential catchment response to environmental change. *Geomorphology*, 69, pp. 222-241.
- Crave, A., Davy, P. (2001) – A stochastic “precipiton” model for simulating erosion/sedimentation dynamics. *Computers & Geosciences*, 27 (7), pp. 815–827.
- Crisci G.M., Di Gregorio S., Rongo R., Scarpelli M., Spataro W., Calvari S., 2003. Revisiting the 1669 Etnean eruptive crisis using a cellular automata model and implications for volcanic hazard in the Catania area. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, pp. 211-230.
- Delahaye D., Guermond Y., Langlois P. (2001) – Spatial interaction in the run-off process. *12th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography*, St-Valery-en-Caux, September 7-11.
- Delahaye D. (2002) – *Apports de l'analyse spatiale en géomorphologie : modélisation et approche multiscalaire des risques*. Mémoire HDR, 2 tomes, Laboratoire Modélisation et Traitements Graphiques, Université de Rouen, 250p.
- Depraetere C., Moniod F. (1991) – Contribution des modèles numériques de terrain à la simulation des écoulements dans un réseau hydrographique : exemple du bassin de Bras-David (Guadeloupe). *Hydrologie continentale*, 6, pp. 29-53.
- Di Gregorio S., Serra R., Villani M. (1998) – Simulation of soil contamination and bioremediation by a cellular automaton model. *Complex Systems*, 11 (1), pp. 31–54.
- Dmitriev A.I., Popov V.L., Psakhie S.G. (2006) – Simulation of surface topography with the method of movable cellular automata. *Tribology International*, 39, pp. 444-449.
- Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. (2006-a) – Les apports de l'IAD à la caractérisation morphométrique des bassins versants sensibles aux crues rapides hyper-concentrées (Bassin Parisien, Nord de la France). *Proc. of the International Conference on "Interactions Nature-Sociétés. Analyse et modèles"*, 3-5 mai, La Baule, France, CD-ROM, 6 p.

- Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. (2006-b) – Application of cellular automata modelling to analyse the dynamics of hyper-concentrated stream flows on loamy plateaux (Paris Basin, North-western France). *Proc. Of the 7th Int. Conf. on HydroInformatics, "Innovate and share"*, Nice, France, Vol. 2, pp. 1048-1056.
- Fonstad M.A. (2006) – Cellular automata as analysis and synthesis engines at the geomorphology–ecology interface. *Geomorphology* (in press), 17 p.
- Gardner, M. (1970) – The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game of 'life'. *Scientific American*, 223 (4), pp. 120-123.
- Gravelius H. (1914) – Grundriß der gesamten Gewässerkunde, in Band 1 : *Flußkunde (Compendium of Hydrology, vol. 1, Rivers, in German)*, Goschön, Berlin, Germany.
- Horton R.E. (1945) – Erosional development of streams and their drainage basins ; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America (BGSA)*, 56, pp. 275–370.
- Jimenez-Hornero, F.J., Giraldez, J.V., Laguna, A. (2004) – Estimation of the role of obstacles in the downslope soil flow with a simple erosion model: the analytical solution and its approximation with the Boltzmann model. *Catena*, 57, 261-275.
- Langlois P., Delahaye D. (2002) – Ruicells, automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 12 (4), pp. 461-487.
- Ludwig B. (1992) – *L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du Nord du Bassin Parisien. Analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire*. Thèse de Géog., ULP-Strasbourg, 155 p.
- Ménard A., Marceau D.J. (2006) – Simulating the impact of forest management scenarios in an agricultural landscape of southern Quebec, Canada, using a geographic cellular automata. *Landscape and Urban Planning* (in press), 13 p.
- Tarboton D. G. (1997) – A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, vol. 33 (2), pp. 309-319.
- Wolfram S, (1983) – Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Rev. Mod. Phys*, 55, pp. 601-644.
- Wolfram, S. (2002) – A New Kind of Science. *Champaign, IL: Wolfram Media*, pp. 646-647.

DE LA STRUCTURE SPATIALE AUX DYNAMIQUES URBAINES : LES AUTOMATES RETICULAIRES

Diego Moreno

*Laboratoire SET – UMR 5603 CNRS
Université de Pau et des Pays de l'Adour
IRSAM, avenue du Doyen Poplawski
64000 Pau
diego.moreno@etud.univ-pau.fr*

1. Contexte

Les Grecs anciens, notamment Platon (-370 ?) et Aristote (-340 ?), établissaient un lien étroit entre la morphologie de la ville et la qualité de la société urbaine. Aujourd'hui ce lien entre forme et fonctionnement redevient d'actualité : la dynamique du système urbain dépend de la structure morphologique actuelle de la ville. Pour mieux comprendre le fonctionnement de la ville, et mieux évaluer l'impact des politiques d'aménagement menées, il fait donc sens de chercher à mieux comprendre sa forme.

Les automates cellulaires offrent un cadre conceptuel et méthodologique particulièrement approprié pour explorer, de manière expérimentale, les relations entre fonctionnement et forme. Toutefois, en dépit d'apports importants de la communauté des géographes au formalisme mathématique et informatique des automates cellulaires dans l'objectif de mieux prendre en compte les spécificités de l'espace et des processus géographiques (Ménard *et al.*, 2004), une caractéristique essentielle nous semble aujourd'hui encore faire défaut. Les relations de voisinage entre unités géographiques sont en effet le plus souvent déterminées d'une part selon des critères topologiques (contiguïté) ou métriques (distance euclidienne), et d'autre part sur une base stationnaire, deux options qui traduisent peu ou mal les différenciations spatiales induites par les réseaux et les modes de transport.

Les premiers modèles urbains plaçaient déjà l'accessibilité intra-urbaine au centre de l'explication de l'agencement des différentes formes d'utilisation du sol (Alonso, 1964 ; Hansen, 1959). Mais les premières applications de la notion d'automate cellulaire à l'étude de la dynamique urbaine (Tobler, 1979 ; Codd, 1968 ; Albin, 1975 ; Nakajima, 1977) se basent sur l'influence de l'occupation du sol de chaque unité spatiale sur un voisinage immédiat. White et Engelen (1997) introduisent dans leur modèle la présence du réseau de transport, et l'intégration de la contrainte spatiale dans des modèles subséquents (Engelen *et al.*, 2002 ; Barredo *et al.*, 2003) permet de replacer l'accessibilité au cœur de l'automate cellulaire.

Toutefois, même si des modèles plus récents tiennent compte de l'influence des éléments d'infrastructure dans l'évolution urbaine à travers les fonctions de transition (Xie, 1996 ; Batty et Xie, 1997 ; Phipps et Langlois, 1997), l'hétérogénéité de l'espace est rarement prise en compte, du fait de la difficulté à définir des structures géométriques irrégulières dans ce genre de formalisation. Les géographes ont très tôt souligné (Takeyama et Couclelis, 1997) que ces contraintes, peu raisonnables pour décrire les structures d'un espace géographique, méritaient d'être en partie au moins relâchées. O'Sullivan (2001a) a démontré qu'un examen du formalisme des automates cellulaires s'avère nécessaire, en raison de la sensibilité remarquable de certains processus spatiaux à des petites modifications des structures spatiales.

2. Les automates réticulaires

Dans cette perspective, nous proposons un automate à base de graphes mathématiques permettant de mieux rendre compte, à terme, de l'impact de la morphologie sur le fonctionnement et l'évolution des systèmes urbains. A cet effet, nous nous intéressons plus précisément aux diverses constructions qui forment la ville et à leurs relations spatiales. Le modèle REMUS (Reticular Model for Urban Simulation) permet de représenter la structure spatiale urbaine sous la forme d'un graphe mathématique, afin d'explorer les proximités entre les entités spatiales du bâti, à travers les réseaux de transport urbain.

En nous inspirant des travaux de Chua et Yang (1988), Schonfish (1997) et de O'Sullivan (2000, 2001a, 2001b), nous avons cherché à dépasser cette stationnarité, en nous focalisant dans un premier temps sur sa composante structurelle, par trop irréaliste dans un environnement urbain. Nous sommes ainsi partis du principe qu'il faisait sens de prendre les éléments bâtis comme unités urbaines élémentaires, et de remplacer la stricte contiguïté par une distance de voisinage. On peut ainsi considérer que deux unités spatiales sont voisines si la distance euclidienne entre leurs deux centroïdes est inférieure à une distance d_{seuil} donnée :

$$d(U_i(x_i, y_i); U_j(x_j, y_j)) \leq d_{seuil} .$$

Travailler ainsi à partir de distances euclidiennes implique toutefois, au-delà des avantages techniques procurés, d'accepter l'hypothèse d'un espace fondamentalement isotrope : pour une distance seuil donnée, le graphe de voisinage ne dépend que de l'agencement spatial des unités U_i . Or, il est évident que l'existence de réseaux de transport aux capacités différenciées, vient perturber fortement cette hypothèse. Ainsi, raisonner en terme d'accessibilité réseau, pour un mode de transport donné, revient à introduire l'anisotropie fondamentale de l'espace géographique dans la construction même de l'automate cellulaire.

La multiplicité des relations possibles entre les entités spatiales et la variabilité spatiale et temporelle de ces relations, induites par la nature et l'évolution des déplacements urbains et des modes de transports, nous incite à mieux spécifier les relations spatiales. Nous proposons en particulier d'introduire un voisinage spécifique pour chaque cellule, susceptible d'évoluer dans le temps, et qui permette de rendre compte de toute la complexité des relations spatiales dans la ville. Les relations de voisinage sont donc fondamentalement fonctionnelles et non simplement géométriques.

3. Le modèle REMUS

Dans cette perspective, la construction du graphe de relations implique au préalable :

- la construction d'un *graphe urbain* $G(S, A)$, dont les sommets incluent les noeuds du réseau routier et les bâtiments, et dont les arcs sont constitués de tronçons de route et de connecteurs bâti/route.
- l'exécution au sein du graphe urbain d'algorithmes de parcours de graphe afin de calculer le temps de trajet, par le plus court chemin et pour un mode de transport donné, entre tous les couples de sommets $\{S_i; S_j\}$ du graphe $G(S, A)$. Ce procédé aboutit à la création d'un *graphe fonctionnel*, plein et non planaire $G'(U / U \subset S, K)$, constitué des sommets représentant les bâtiments et des arcs représentant les temps minimaux de parcours par le réseau entre toutes les paires possibles de bâtiments, pour un mode de transport donné.
- la construction du *graphe de relations* $G_r''(U, R_r / R_r \subset K)$, sous-graphe du graphe fonctionnel, dont les sommets représentent les bâtiments et les arcs les relations de voisinage pour un temps de trajet donné t_{seuil} , tel que, $t(U_i; U_j) < t_{seuil}$.

La structure même du graphe de relations ainsi généré est porteuse d'information, puisqu'elle ne dépend pas uniquement de l'agencement des unités spatiales élémentaires, mais également de leurs relations spatiales à travers l'accessibilité routière. Chaque graphe de relations de voisinage est caractéristique d'un mode de transport et d'un temps seuil de parcours, et il est le produit d'une série de procédés d'abstraction qui visent à mettre en évidence la structure de l'accessibilité intra-urbaine. Le graphe de relations permet donc de définir de manière dynamique des voisinages irréguliers correspondant aux déplacements urbains.

L'application REMUS (Reticular Model for Urban Simulation), créée en collaboration avec des chercheurs en informatique du LIUPPA, permet de générer ces différents graphes (graphe urbain et graphe des relations) et de poser les bases d'un automate cellulaire anisotrope et non stationnaire susceptible à terme de mieux prendre en compte les relations spatiales dans la simulation des dynamiques urbaines.

La génération du graphe urbain implique l'importation de données géométriques à partir d'un Système d'Information Géographique. REMUS crée des carrefours à l'intersection des tronçons de route, regroupe les différentes lignes composant un tronçon de route entre deux carrefours, et génère le graphe routier avec les carrefours comme sommets et les tronçons comme arcs. Ensuite, REMUS incorpore les données du bâti dans le graphe, en générant les accès du bâti au réseau routier de manière automatique. Ces deux opérations permettent

de générer le graphe urbain, qui représente l'ensemble des bâtiments et leurs interconnexions via le réseau routier.

Dans une deuxième étape, le graphe urbain permet de créer le graphe de relations pour des distances-seuils variables. Cette étape implique de valuer au préalable le graphe urbain avec des temps de parcours dérivés de la longueur géométrique et de la vitesse moyenne de chaque tronçon. Ensuite, une stratégie de parcours de graphe est mise en place, à l'aide de l'algorithme de Floyd-Warshall (Floyd, 1962). Cet algorithme calcule le plus court chemin entre toutes les paires de sommets possibles dans le graphe urbain. Toutefois, compte tenu de la complexité de cet algorithme et afin de réduire les temps des calculs, une solution de parcours de graphe a été adoptée visant à restreindre les parcours. Le graphe urbain comporte ainsi deux niveaux : le sous-graphe des connecteurs bâti/route $G(B,E)$ et le sous-graphe routier $G(C,T)$. Dans un premier temps, l'algorithme de Floyd est appliqué seulement au sous-graphe routier, puis les parcours sont étendus aux connecteurs bâti/route en associant chaque bâtiment à un carrefour. Cette stratégie originale d'exploration à deux niveaux permet de traiter de grandes bases de données, comme les bases de données cadastrales, en réduisant le nombre de sommets parcourus et en diminuant le nombre d'itérations de l'algorithme de manière vertigineuse. À l'issue du parcours de graphe, une matrice des temps de parcours entre paires de bâtiments est générée. Cette matrice correspond au graphe complet $G'(U,K)$ dans lequel les sommets U représentent les bâtiments, et la valuation de chaque arc K correspond à la distance/temps de parcours entre bâtiments à travers le réseau urbain.

Une hiérarchisation des distances/temps de parcours permet d'effectuer la sélection des voisins de chaque bâtiment pour une distance seuil donnée. Finalement, le graphe de relations de voisinage $G''(U,R)$ est généré pour la distance seuil choisie (Figure 1). On obtient ainsi une visualisation locale des proximités entre bâtiments par le réseau routier et non à vol d'oiseau.

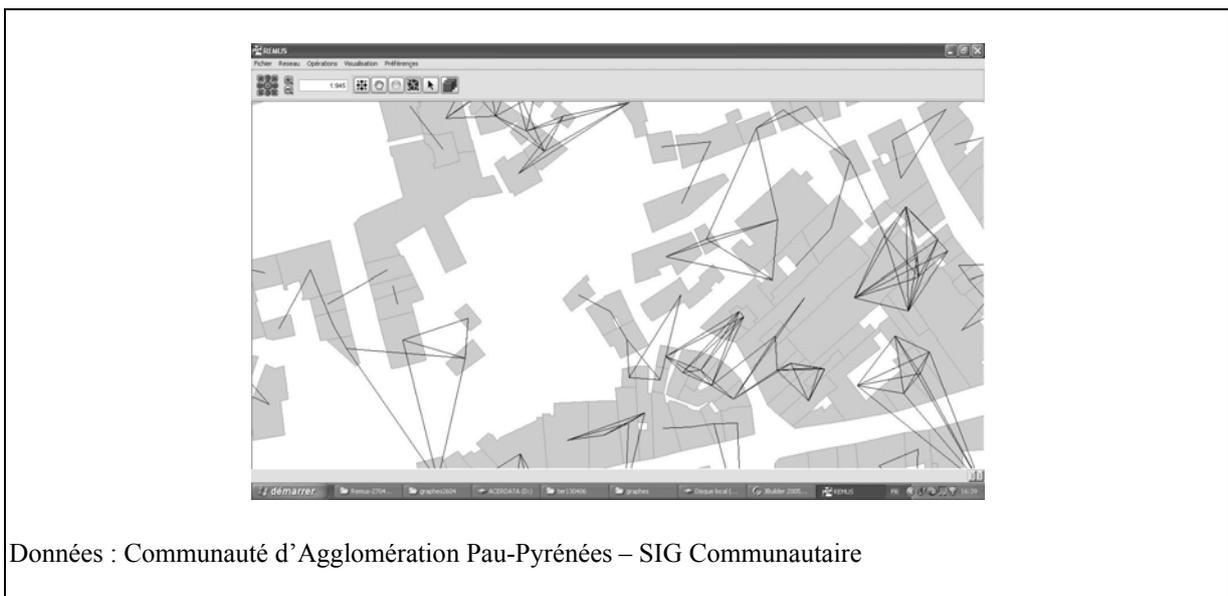


Figure 1. Exemple de génération d'un graphe de relations de voisinage à 25m avec l'application REMUS.

4. Conclusions

L'étude des relations spatiales entre immeubles d'une même ville peut donc se faire à partir de l'étude des matrices cadastrales les répertoriant et de la caractérisation des relations spatiales entre ces immeubles. Cette caractérisation peut prendre un aspect innovant sous la forme d'un automate cellulaire géographique, à même de représenter à la fois les liens de proximité entre immeubles dans l'espace euclidien de la ville, mais aussi dans l'espace du réseau de circulation. Cette nouvelle formalisation offre plusieurs avantages, à la fois méthodologiques, scientifiques et thématiques, que nous proposons d'explorer à l'avenir.

D'un point de vue méthodologique, le fait de s'en tenir à une formalisation correspondant rigoureusement à la théorie des graphes nous permet de nous servir des nombreux outils mathématiques et informatiques développés pour analyser des graphes de grande dimension. Par ailleurs la définition d'un automate cellulaire à base de graphe mathématique permet de représenter des dynamiques fondées sur deux types de proximités : une proximité aréale, basée sur une distance euclidienne, et une proximité fonctionnelle par le réseau.

D'un point de vue scientifique par ailleurs, cette approche permet de bénéficier des développements nombreux de la recherche sur les graphes, en mathématiques, en physique, en biologie et dans les sciences sociales. La mise en évidence de divers modèles de réseaux existants (Erdős-Rényi 1959, Watts-Strogatz 1998, Albert-Barabasi 1999) et l'étude de leurs propriétés pourra ainsi directement être appliquée à l'étude des graphes urbains.

Enfin, d'un point de vue thématique, cette représentation originale de la ville en tant qu'espace euclidien et qu'espace en réseau, ouvre la voie à de vastes champs d'applications dans le domaine de la géographie urbaine et des études d'urbanisme. Il deviendra ainsi possible de mieux étudier les stratégies de déplacements en interaction avec le trafic routier et en liaison avec les contraintes morphologiques des villes. Il deviendra également possible de développer la représentation des modifications urbaines, des plus petites (mise un sens interdit d'une rue) au plus générales (création d'un nouveau quartier) et de mieux mesurer leurs impacts sur l'ensemble de la ville. Enfin, on pourra développer les études d'impact ou les études de bonne gouvernance des villes, à partir de la définition de communautés locales, ou de communautés de voisinages, reposant sur des principes à la fois euclidiens et réseautiques.

Au final, nous gageons que l'approche de la ville à partir d'un automate cellulaire aux caractéristiques structurelles et à terme fonctionnelles plus réalistes, permet d'améliorer la compréhension du fonctionnement et des effets de ses formes spatiales. Dans la mesure où la morphologie urbaine est générée à partir de l'action d'agents individuels dans la société et des politiques d'aménagement du territoire, notre approche participe à l'éclairage des phénomènes émergents –processus, interactions et formes– à l'interface des sociétés humaines et de l'espace, à l'aide de la théorie des systèmes complexes et des outils de modélisation associés.

5. Bibliographie

- Albert R., Barabasi A.-L., « Statistical mechanics of complex networks », *Review of modern physics*, 74, 2002, p. 47-97.
- Albin P.S., *The analysis of complex socioeconomic systems*, Lexington, Lexington Books, 1975.
- Alonso W., *Location and land use : toward a general theory of land rent*, Cambridge, Harvard University Press, 1964.
- Aristote, *La politique. L'homme animal civique*. Paris, Gonthier, PUF, 1980, 1ère ed. -340 ?, 288 p.
- Barredo J.I., Kasanko M., McCormick N., Lavallo C., « Modelling dynamic spatial processes : simulation of urban future scenarios through cellular automata », *Landscape and Urban Planning*, n°64, 2003, p. 145-160.
- Batty M., Xie Y., « Possible urban automata », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol.24, n°2, 1997, p.175-192.
- Chua L., Yang L., « Cellular neural networks: theory and applications », *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1988, p. 1257-1290
- Codd E., *Cellular automata*, New York, Academic Press, 1968.
- Engelen G., White R., Uljee I., « The MURBANDY and MOLAN models for Dublin », Submitted to European Commission Joint Research Center, Ispra, Italy. Dublin, ERA-Maptec : 172, 2002.
- Erdős P., Rényi A., « On random graphs », *Publicationes Mathematicae*, Debrecen, n°6, 1959, p. 290-297
- Floyd R.W., « Algorithm 97: Shortest Path ». *Communications of the ACM*, vol.5, n°6, 1962, p. 345.

- Hansen W.G., « How accessibility shapes land use », *Journal of the American Institute of Planners*, n°25, 1959, p. 73-76.
- Kaufmann A. *Des points et des flèches... La théorie des graphes*. Paris, Dunod, 1968, 155 p.
- Langlois A., Phipps M., *Automates cellulaires : application à la simulation urbaine*, Paris, ed. Hermes, 1997.
- Ménard, A, Filotas, E Marceau D., " Automates cellulaires et complexité : perspectives géographiques". Documents de l'IAG, 2004, : <http://www.iag.asso.fr/>
- Nakajima T., « Application de la théorie de l'automate à la simulation de l'évolution de l'espace urbain », Congrès sur la Méthodologie de l'Aménagement et du Développement, Montréal, Association Canadienne-Française pour l'Avancement des Sciences et Comité de Coordination des Centres de Recherche en Aménagement, Développement et Planification (CRADEP), 1977, p. 154-160.
- O'Sullivan D., Graph-based cellular automata models of urban spatial processes, Thèse de doctorat, University College London, London, 2000.
- O'Sullivan D., « Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol.28, 2001, p. 687-705.
- O'Sullivan D., « Graph-cellular automata : a generalised discrete urban and regional model », *Geographical Analysis*, vol.33, n°1, 2001.
- Phipps M., Langlois A., « Spatial dynamics, cellular automata, and parallel processing computers », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol.24, n°2, 1997, p. 687-705.
- Platon, *La République*. Paris, Garnier Flammarion, 1966, 1^{ère} ed. -370 ?, 507 p.
- Schonfisch B., « Anisotropy in cellular automata », *BioSystems*, vol.41, 1997, p. 29-41.
- Takeyama M., Couclelis H., « Map dynamics : integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra », *Int. J. Geographical Information Science*, vol.11, n°1, 1997, p. 73-91.
- Tobler W., « Cellular Geography », *Philosophy in Geography*, S. Gale and G. Ollson, Dordrecht, Kluwer, 1979, p. 379-386.
- Watts D.J., Strogatz S. H., « Collective dynamics of 'small-worlds' networks », *Nature* n°393, 1998, p. 440-442
- Weisbuch G., *Dynamique des Systèmes Complexes ; une introduction aux réseaux d'automates*, Paris, InterEditions / CNRS, 1989
- White R., Engelen G., « Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling », *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol.24, n°2, 1997, p. 235-246
- Xie Y.C., « A generalized model for cellular urban dynamics », *Geographical Analysis*, vol.28, n°4, 1996, p. 350-373.

UN SIG POUR L'ANALYSE DES MUTATIONS FONCIERES A GENTILLY, COMMUNE DE LA BANLIEUE PARISIENNE DIVISEE PAR LES FORTIFICATIONS DE THIERS, 1845-1860.

Virginie Capizzi

Doctorante en Histoire Contemporaine
EHES – Sous la direction de Gilles Postel-Vinay
Contact mail : virginie.capizzi@laposte.net

1. Le contexte de la recherche et la problématique

La recherche en cours trouve son point de départ dans la construction des fortifications militaires dites « de Thiers ». Cette nouvelle enceinte commencée en 1840 et achevée en 1845 entourait Paris en englobant entièrement ou en partie une couronne de communes de la proche banlieue. Pendant une vingtaine d'années, jusqu'à son annexion à Paris en 1860, cette couronne « suburbaine » est restée enfermée entre le mur des Fermiers Généraux, limite juridique et fiscale de Paris, et les fortifications. C'est d'un sentiment d'étonnement face à la situation très particulière de ces communes dont le territoire s'est trouvé divisé par l'enceinte, qu'est né le projet de recherche.

L'hypothèse fondatrice consiste à considérer les fortifications de 1840, *a priori*, comme « un événement urbain perturbateur », porteur à la fois de changements immédiats et potentiels. Dès leur construction, les fortifications modifient la configuration spatiale des communes de la banlieue périphérique, englobant certaines communes en totalité et en coupant d'autres en deux, dont Gentilly. Le territoire gentilléen, bien que matériellement divisé, reste entier et la partie « enfermée » entre le mur des Fermiers Généraux et l'enceinte reste gentilléenne. Enfin, la construction entraîne d'emblée des expropriations, une division des propriétés, la présence de militaires, une zone de servitudes militaires, des limites à la construction, des portes et poternes, etc. Au premier rang des perturbations potentielles figurent potentiels l'extension parisienne jusqu'aux fortifications. Envisagée dès 1840, l'annexion des territoires de l'« entre-deux » dans un futur plus ou moins proche, est redoutée ; sous les pressions, et pour calmer les esprits, les législateurs encadre sa réalisation de manière stricte, mais les changements de régime sont toujours possibles et l'annexion reste un événement possible... Le futur qui s'ouvre semble donc aux yeux des contemporains plus ou moins certain (annexion ou non) ou incertain (possibilité avec divers degrés d'incertitude). L'espace se trouve remis en question ; de nouveaux avenir possibles sont désormais ouverts.

La problématique conçue à partir de cette situation initiale s'articule en trois volets : 1. Comment les contemporains envisagent-ils le futur de la ville de Paris et du village qu'ils habitent, à partir du moment où la construction des fortifications est décidée puis commence ? L'annexion est-elle déjà perçue comme une fatalité, en 1840, et quelles conséquences y sont attachées ? 2. Comment l'espace de l'« entre-deux murs » est-il vécu, investi, et géré jusqu'en 1860 ? Les fortifications, barrière physique, ont-elles fonctionné comme limite dans d'autres domaines ? Quels ont pu être la place et le rôle de l'enceinte dans les processus de recompositions et de différenciation socio-éco-spatiales ? 3. Comment l'historien peut-il tenter de lier ces deux sphères : celle des « lectures » (ensemble d'anticipations, de futurs imaginés, d'attentes, d'interprétations) et celle des agirs ? Peut-on lire, dans l'évolution du territoire, les traces des destins urbains imaginés par les habitants, les autorités publiques, etc. ?

Dans cette architecture problématique, l'espace occupe une place essentielle. Il est à la fois : terrain d'action (les hommes vivent et agissent dans et sur l'espace) ; objet (qui se vend, s'achète, se parcourt, sur lequel on construit, qui s'exploite, etc.) ; enjeu (l'espace est une ressource, il est porteur de ressources, il correspond aussi à des charges, il est enjeu de pouvoir, terrain politique, etc.) ; c'est aussi l'un des « lieux » où l'on peut rechercher la traces des liens entre anticipations au sens large et agirs, c'est-à-dire comme l'un des témoins indirects possibles qui exprimerait ces liens par sa capacité à être marqué, modelé, par sa mémoire et sa malléabilité, et parce qu'il supporte et accueille les activités humaines. Dès lors, le recours aux outils géographiques est apparu comme une nécessité. Au-delà d'une simple utilisation de cartes et de plans à des fins de repérage, la pertinence de l'outil SIG pour ce type de problématique m'a conduite à envisager, sous la

direction de Françoise Pirot, la construction d'un SIG à titre expérimental, sur une partie de l'étude seulement, l'étude foncière.

2. Le cadastre : une source privilégiée pour étudier les dynamiques spatiales foncières, mais des difficultés non négligeables

Les sources

Le cadastre (plan, matrices, et état de section) constitue la principale source mobilisée pour l'étude foncière. Elle est complétée par les informations issues des tables d'acquéreurs, indispensables à une analyse des prix (en effet, les matrices cadastrales ne fournissent aucune indication de prix). Les sources cartographiques utilisées sont le plan cadastral de Gentilly levé en 1845-1846 (1/1000^e) et une carte IGN du secteur d'étude. Les sources thématiques sont les matrices cadastrales de 1848-1860, l'état de section de 1847 (retrouvé seulement pour la partie restée gentillienne) et les tables d'acquéreurs pour la période 1844-1860. L'une des premières difficultés liées à la source réside dans le fait que le plan cadastral n'est pas une source dynamique : les mutations foncières n'y sont pas reportées. Le regroupement ou le fractionnement de parcelles au cours du temps se sont donc pas *visibles* sur le plan, qui n'en porte aucune trace. Ainsi, si une parcelle n° 12 de 3 hectares est fractionnée en plusieurs lots, elle reste localisée, dans les sources, à partir du numéro de parcelle originel, défini à la date de mise en service du cadastre (état de section), avec la mention « p » pour « partage » ou « partie ». Il n'est donc pas possible de déterminer très précisément où se situent chacun des nouveaux petits lots issus de cette parcelle. Autrement dit, de par le fonctionnement même des sources, la localisation des biens vendus et achetés devient plus floue à mesure que les mutations foncières se multiplient. Par ailleurs, la nature des sources implique un croisement et un long travail de mise correspondance. En effet, le cadastre (matrices) fournit une localisation parcellaire mais pas de prix ; à l'inverse, les tables d'acquéreurs (source de l'enregistrement) fournissent des indications de prix mais pas de localisation parcellaire.

La parcelle, objet spatial de référence, principal carrefour d'information

La définition des objets spatiaux, étape nécessaire à la construction du SIG a résulté du croisement de deux démarches : une réflexion approfondie sur les questionnements de la recherche – notamment à travers le Modèle Conceptuel de Données – et une analyse critique des sources et des informations qu'elles contenaient. Les principaux objets spatiaux retenus sont la commune, les sections, les parcelles, les rues, les fortifications, la zone de servitude militaire, les bâtiments publics et privés, la Bièvre, les puits, les glaciers, les carrières, etc.¹ A ces objets, s'en ajoutent d'autres, directement issus des problématiques foncières : la transaction (vente, succession, etc.), l'objet vendu/acheté, l'acteur foncier (acheteur/vendeur), le lieu. Dans cet ensemble, la parcelle occupe une place centrale : dans le cadastre, elle constitue la clé et la base de la localisation géographique. Du point de vue de la structuration des données recueillies, elle est le nœud où s'effectue la mise en relation des données issues des deux grands types de sources utilisés : cadastre et tables d'acquéreurs. Elle continue à fonctionner comme carrefour d'information et localisant de référence. Du point de vue de l'analyse spatiale, elle est l'unité spatiale de base. Lorsque la localisation parcellaire n'est pas possible, j'essaierai de localiser les biens par leur adresse (rue et numéro) grâce à la construction d'un dictionnaire de correspondance entre numéro de parcelle et adresse à partir des matrices cadastrales.

3. La modélisation : les Modèles Conceptuels de Données (MCD)

Après la construction d'un Modèle Conceptuel de Données global, nécessaire pour mieux appréhender la problématique dans l'optique du SIG, il a fallu concevoir un modèle particulier adapté à la problématique foncière. Ce deuxième modèle (en cours de modification) et la réflexion sur les attributs des classes, évoluent en permanence. Le MCD global, le MCD foncier et la réflexion sur les attributs des classes seront présentés lors de mon intervention.

¹ Ces objets sont ici qualifiés de spatiaux dans la mesure où ce sont des objets d'ancrage d'informations thématiques (à la parcelle 12 sera rattachée par exemple l'année de vente, le prix, etc.). Mais ils peuvent également être étudiés *en tant que tels*, et devenir ainsi des objets thématiques. Ce sont donc des objets à la fois spatiaux et thématiques.

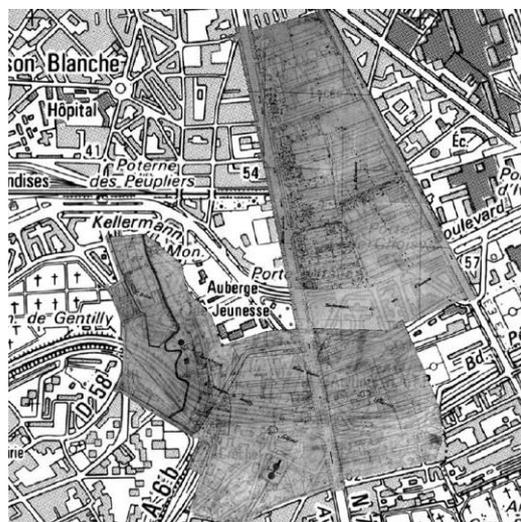
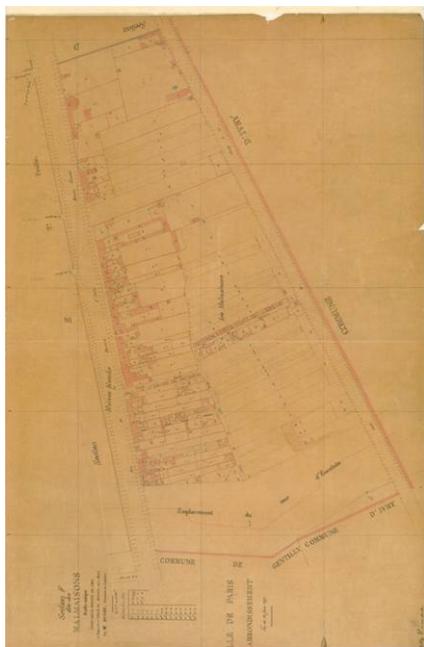
4. La préparation des données

Les données cartographiques (ARC-GIS/ARC-INFO)

La préparation des données cartographiques a comporté cinq phases principales :

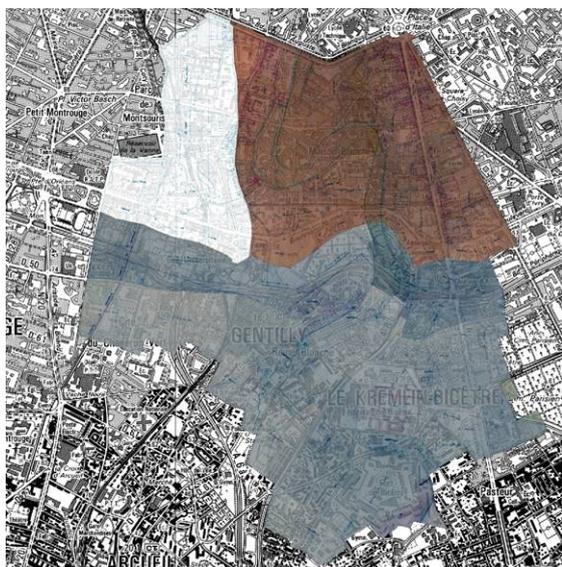
1. L'acquisition de 24 feuilles du plan cadastral, correspondant à 17 sections, rendue plus difficile de par la configuration spatiale et l'histoire de cette commune (archives dispersées suite aux modifications territoriales). Les images ont été acquises, auprès de trois institutions différentes, sous forme de copie numérique sur CD-Rom en mode raster (images « mortes »).
2. La géoréférentiation. Cette étape a été particulièrement longue pour plusieurs raisons liées notamment à la nature et au vécu des documents d'origine (qualité des sources, détériorations éventuelles, modalités de conservation, déformation, etc.); aux modalités de numérisation (extérieure); et enfin à la mise en correspondance de l'espace passé et présent à travers des objets qui ont pu changer, disparaître, ou qui sont nouveaux (en particulier pour la zone de servitude militaire et l'espace occupé par les fortifications, particulièrement transformé depuis...).
3. L'extraction et l'assemblage des 24 plans
4. La numérisation des objets spatiaux. Seuls les objets intra-parcellaires surfaciques et les puits sont à ce jour numérisés.
5. Le codage des objets intra-parcellaires et la reconstruction des objets d'ordre supérieur, en particulier des parcelles et des sections cadastrales.

Les étapes de la préparation des données cartographiques : de l'acquisition à la digitalisation des objets intra-parcellaires.

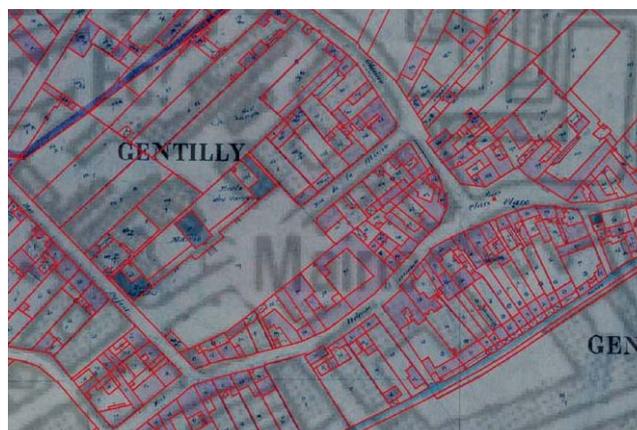


1. Plan de la section F, plan cadastral de Gentilly devenue une partie du 13^{ème} arrondissement de Paris, Mairie de Paris, Direction de l'Urbanisme, Service Technique de la Documentation Foncière (numérisation en interne à 30 dpi). Chaque plan a été géoréférencé et calé sur une carte IGN au 1/25000^{ème}, elle-même scannée et géoréférencée

3.b. et 2.b. Les sections extraites (clip) et transformées en couvertures ont été à nouveau géoréférencées calées sur la carte IGN au 1/25000^{ème}. L'ajustement, encore parfait, a été depuis retravaillé.



Résultat étapes 2 et 3. Plan cadastral de Gentilly (24 feuilles et 17 sections) assemblé et géoréférencé.



4. Shapefile du parcellaire et des objets intra-parcellaires du plan cadastral de Gentilly, extrait de la section P (centre-bourg). La couverture est superposée au plan cadastral.

Les données thématiques (excel)

Le projet de SIG ayant été conçu après le début de la recherche, une grande partie des informations avait déjà été recueillie, stockée, mise en forme et pré-traitée dans un fichier excel. La volonté de pouvoir travailler sur un grand nombre de variables, de prendre en compte la complexité du réel et des cas de figures des transactions réalisées, et enfin de ne pas perdre d'information (ou tout au moins d'en perdre un minimum) ont abouti à une complexification importante, parfois difficile à gérer. Cette complexité constitue aujourd'hui, de mon point de vue, un obstacle supplémentaire à l'avancement du projet et à l'analyse des dynamiques spatiales foncières. C'est pourquoi j'ai choisi dans un premier temps de restreindre le corpus aux seules ventes et adjudications², et de ne retenir sur cet ensemble que les transactions considérées comme « simples »³. A ce jour, environ 1380 ventes portant sur des biens de toute nature situés à Gentilly ont été recensées à partir des tables d'acquéreurs, entre 1844 et 1859, soit environ 56,5% de l'ensemble des transactions réalisées (viennent ensuite les adjudications et les successions).⁴ Concernant les prix, la matrice cadastrale ne fournissant pas d'informations sur le type de transaction et les prix de vente / achat, il a fallu croiser cette première source avec les tables d'acquéreurs et chercher à apparier les mutations foncières de la matrice aux transactions enregistrées dans les tables d'acquéreurs. Sur 916 ventes portant sur de la terre ou des terrains à Gentilly, entre 1844 et 1859, 822 ventes « simples » peuvent être exploitées pour analyser l'évolution des prix au m². En termes d'objets achetés/vendus, les 822 ventes correspondent à 828 objets, sur un total de 982 objets « terres » ou « terrain » vendus à Gentilly entre 1844 et 1859. Jusqu'à présent, 395 ventes sur les 822 mentionnées, ont pu être reliées à

² Les successions constituent un type de transaction très courant et très important pour comprendre la structure globale d'un marché foncier qui ne fonctionne pas seulement sur des logiques marchandes. La prise en compte des successions (mais aussi des échanges) est indispensable à l'étude. Mais pour des raisons pratiques, je n'envisage pas pour le moment de les intégrer au SIG expérimental. Les calculs seront a priori effectués à partir du fichier excel et l'analyse spatiale sera plus limitée que celles des ventes simples, dans la mesure où les données n'auront pas été intégrées au SIG.

³ Les ventes que je considère comme « simples » comprennent en général : 1 acheteur, 1 vendeur, 1 bien vendu localisé dans 1 seul lieu. Les cas de transaction avec 2 acheteurs et 1 vendeur ou inversement sont considérés comme simples si on peut attribuer clairement 1 bien à chaque acheteur / vendeur, et si ceux-ci sont clairement localisés. De même, les cas de transaction concernant plusieurs biens font partie des ventes simples si chaque bien est détaillé et localisé séparément. Un exemple de vente « complexe » serait le suivant : 3 acheteurs achètent à 2 vendeurs « 1 maison, jardin, cour, et terre en plusieurs pièces » d'une surface de 13 ares à « Gentilly (parcelles F12, F57p, F14, E25) et Arcueil ».

⁴ Les registres des tables d'acquéreurs utilisés mentionnent des transactions effectuées en 1843 et en 1860, mais ces années ne sont pas complètes. Seules les années complètes ont été retenues pour les calculs mentionnés ici. La période considérée est donc comprise entre l'année 1844 incluse et l'année 1860 incluse.

la matrice cadastrale et renseignées en terme de localisation parcellaire, soit 48,1%. Cette opération de mise en correspondance des sources, très longue et souvent difficile, a été réalisée manuellement. Les premiers essais d'exploitation pour le SIG porteront sur l'échantillon des ventes portant sur de la terre et des terrains à Gentilly, pour lesquelles prix, surface et localisation parcellaire sont disponibles.⁵

5. Le travail à réaliser

L'analyse spatiale des mutations foncières à Gentilly au 19^{ème} siècle nécessite, compte-tenu de l'histoire de la commune d'une part (commune divisée par l'enceinte, modifications importantes du parcellaires, expropriations, etc.), et de la nature et du fonctionnement des sources utilisées d'autre part, une longue préparation. Avant de passer à une première phase test d'exploitation et d'analyse, il s'agit aujourd'hui, une fois le MCD foncier validé, de procéder à la sélection du corpus réduit des ventes « simples » et de lier les informations thématiques au spatial, par le code de la parcelle.

L'étude des dynamiques foncières doit coupler une analyse spatiale à l'échelle de la parcelle et une analyse sur les objets intra-parcellaires (ventes et achats de maisons, constructions, démolitions, ventes de jardins potagers et transformations d'usages, construction d'ateliers, lotissements et fragmentation parcellaire, etc.). Or la localisation de ces objets à une échelle infra-parcellaire n'est en théorie pas possible à partir des sources retenues. La localisation par adresse, qui aurait pu permettre une analyse plus fine, reste très difficile : les adresses ne sont pas souvent mentionnées dans les matrices (elles sont en revanche plus fréquentes dans les tables d'acquéreurs) ; la numérotation n'est pas stable et des opérations de renumérotation des maisons dans les communes de banlieue parisienne, sur lesquelles on sait peu de choses, compliquent encore les données du problème. Enfin, il n'existe aucun plan de Gentilly au 19^{ème} mentionnant des adresses et des numéros de rue. L'une des solutions envisagées consisterait à localiser des adresses repères situées (le n°23 de la ruelle Gandon en 1847, par exemple), à partir de la création d'un dictionnaire de correspondances entre numéros de parcelles et adresses. Ce type de dictionnaire serait plus pertinent pour le milieu des années 1840, au début de la mise en service du nouveau cadastre, puisqu'à cette époque encore, le plan cadastral parcellaire correspond en principe très bien à la réalité foncière. Au fur et à mesure que les mutations se multiplient, la localisation serait plus difficile. Cependant, une telle approche permettrait d'obtenir des points de repère utiles dans l'optique d'une étude plus précise sur les ventes et achats concernant le bâti.

D'autres sources pourraient sans doute être mobilisées, bien que le cadre et les contraintes de cette recherche doctorale en cours ne me permettent pas aujourd'hui d'aller plus loin.

Dans un premier temps, l'analyse sera effectuée à partir de questions précises et simples (ex. : évolution des prix/m² dans l'espace et le temps, en fonction de la distance par rapport aux fortifications, à Paris, à la Bièvre, etc.). J'envisage ensuite de travailler sur des questions plus complexes, faisant notamment intervenir le poids des facteurs socio-professionnels dans les modalités de fonctionnement du marché foncier, et tout particulièrement dans la formation des prix (analyses multivariées si possible).

6. Conclusion

L'objectif premier, plus ambitieux, visait à construire un SIG intégrant l'ensemble des aspects de ma recherche sur les transformations d'un territoire communal physiquement divisé, pendant vingt ans, par l'enceinte de Thiers. Face à l'ampleur d'un tel travail, j'ai choisi de restreindre l'expérience à l'analyse des dynamiques foncières. L'enjeu, à mon niveau, est double : d'une part expérimenter l'outil SIG et montrer son intérêt et ses potentialités dans le cadre d'une recherche historique ; d'autre part, appréhender différemment les dynamiques foncières propres à ce territoire communal perturbé, en prenant pleinement en compte la dimension spatiale, et mieux saisir l'influence des fortifications sur la structuration du marché foncier à Gentilly, entre 1845 et 1860.

⁵ Les chiffres indiqués concernent les biens achetés / vendus localisés « Gentilly ». D'autres biens localisés à « Gentilly (Paris) », « Gentilly ou Ivry », « Gentilly ou Paris », etc. n'ont pas été pris en compte pour les calculs présentés ici.

LE PAYSAGE ARCHEOLOGIQUE ET SACRE D'UN SITE EN INDE CENTRALE : LA PLACE DU TEMPLE DANS LA FORMATION CULTURELLE ET POLITIQUE A L'EPOQUE MEDIEVALE (V^E-XIII^E SIECLE)

Anne Casile

Université de Paris III – Sorbonne Nouvelle

Les objectifs de la recherche en cours

Les principaux objectifs de la thèse peuvent être résumés ainsi :

- ▶ il s'agit, d'une part, d'interroger, sur la base d'une enquête archéologique de terrain, les particularités de l'environnement social, économique et politique des temples, dans la perspective et l'interprétation des événements dynastiques et de leurs influences en Inde du Nord entre le V^e et le XIII^e siècle environ ;
- ▶ de localiser les dynamiques religieuses dans l'espace et d'explorer le développement des sites cultuels dans le temps ;
- ▶ et, d'autre part, de confronter au terrain les diverses approches historiographiques et les principales théories sur la formation culturelle et politique de l'Inde durant la période susmentionnée.

Le choix d'une aire d'investigation – le site de Badoh-Pathari et ses environs (district de Vidisha, Madhya Pradesh) –, la constitution d'une base de données issues d'une enquête de terrain, la réflexion méthodologique dans la réalisation de cette enquête, l'approche interdisciplinaire, et l'analyse spatiale, sont au cœur des problématiques développées dans la thèse.



Le cadre académique : les domaines de recherche combinés

Le projet de la thèse s'inscrit dans plusieurs domaines de recherches complémentaires.

▶ Un premier domaine concerne l'archéologie du paysage (réflexions sur les formes et l'histoire du paysage associées à l'étude des sociétés). Dans le contexte indien, l'étude des paysages intéresse encore peu de chercheurs.

▶ Un second domaine de recherche concerne le temple (hindou et jaïn) en Inde du Nord – en tant que monument d'architecture, site religieux et social, centre rituel, réceptacle des surplus économiques générés par la société, instrument de légitimation du pouvoir, etc. –, et la place du temple dans la formation culturelle et politique à partir de l'ère Gupta jusqu'aux environs du XIII^e siècle. Dans la thèse, plusieurs aspects des temples sont ainsi associés, à la fois dans le temps et dans l'espace : ces aspects concernent l'architecture, la sculpture, l'iconographie, l'épigraphie, la chronologie, et le contexte archéologique et environnemental.

▶ Le sujet de la thèse s'inscrit enfin dans un domaine de recherche large et complexe, visant à reconstituer les processus économiques et politiques qui ont participé à la formation de la société indienne durant la période dite 'médiévale'. L'histoire de cette période, plus particulièrement les processus à l'origine des transformations politiques et sociales, souvent résumés par l'expression "state formation", sont l'objet de grands débats entre historiens depuis plusieurs années. Ces débats ont généré plusieurs modèles théoriques, appliqués à des aires géographiques diverses de l'Inde. La fonction des temples au sein de ces débats est en jeu, liée essentiellement aux questions de patronage et de processus de légitimation du pouvoir politique. Pourtant, on constate que les temples et les contextes sont peu observés et que les théories sont rarement confrontées au terrain.

Ces domaines de recherches interviennent à diverses étapes de la réflexion développée dans la thèse, mais c'est avant tout sur la base d'une enquête de terrain que s'appuient les recherches et que sont définies les problématiques.

Le terrain de l'investigation et les problématiques qu'il induit

La thèse a pour terrain d'investigation un site en Inde centrale, connu sous le nom de Badoh-Pathari. Deux enquêtes archéologiques ont été réalisées sur ce site et ses environs en 2004 et 2005, sur une aire géographique de 100 km² approximativement (incluant Badoh-Pathari et ses collines, les plaines et les villages alentours). Six mois ont été consacrés à la réalisation de cette enquête sur place.

Situé en bordure est du plateau du Malwa, Badoh-Pathari est un centre religieux, politique et économique d'importance régionale. Isolé des grands axes de communication, c'est aujourd'hui un village, rattaché au district de Vidisha dans l'état du Madhya Pradesh. Le contexte régional et les différents sites qui le composent sont des aspects significatifs de la thèse. Le choix de Badoh-Pathari tient à plusieurs aspects :

- ▶ sa situation géographique, entre Vidiśā et Eran, au cœur d'une zone d'influence majeure dans l'histoire des développements et des échanges culturels entre le Nord et le Sud de l'Inde dès l'époque ancienne ;
- ▶ la situation de la région dans l'histoire des dynamiques politiques durant la période médiévale (l'étude des inscriptions provenant du site et de la région met en évidence l'inadaptation des schémas dynastiques de l'historiographie traditionnelle) ;
- ▶ la richesse du matériel archéologique (vestiges d'architecture, de sculptures, inscriptions, et aménagements hydrauliques), témoignant d'une activité religieuse, économique et politique continue entre le V^e et le XIII^e siècle ;
- ▶ la préservation et l'isolement du site, à l'écart des grands axes de communication ;
- ▶ ses particularités géomorphologiques, propices notamment à l'étude des ouvrages hydrauliques, de la gestion de l'eau, et, dans une certaine mesure, de l'agriculture.

La réalisation d'une enquête archéologique et le choix d'un outil d'intégration et de traitement de données

Les limites de l'enquête archéologique sont dictées par les particularités géographiques du milieu et par la nature du sujet. Les choix méthodologiques de l'investigation procèdent, en premier lieu, d'une historiographie critique des diverses approches du terrain en archéologie et en histoire de l'art. Ces choix sont inspirés, en second lieu, de principes théoriques développés dans la recherche occidentale en archéologie du paysage, et d'une confrontation de ces principes aux variables culturelles, écologiques et historiques qui caractérisent le contexte indien.

Cette étude débord largement l'objet proclamé de la thèse et s'étend au-delà du champ géographique de l'enquête. Combinée à d'autres aspects de l'archéologie indienne, elle participe cependant à la formulation des problématiques et a des implications théoriques dans la constitution et l'interprétation d'une base de données scientifiques et empiriques pour examiner les questions liées aux transformations culturelles durant la période médiévale.

Sur le terrain, les méthodes d'enquête sont aussi le résultat d'expériences, d'échanges, et d'un apprentissage sur place. Cet apprentissage s'inscrit dans le temps, celui de l'observation et des déplacements : c'est à pied que fut menée l'enquête, l'objectif sur le terrain étant d'évaluer ensemble, et de confronter entre elles, les différentes sources (vestiges, milieu naturel, occupation du sol, perceptions de l'espace, etc.).

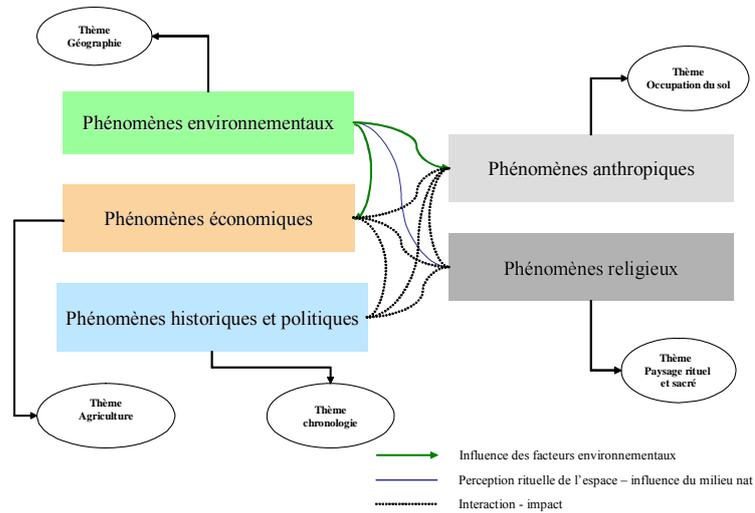
Les méthodes de l'enquête ont permis la découverte d'un vaste matériel (plusieurs dizaines de sites cultuels, plus de deux cent temples – en ruine pour la plupart –, plusieurs centaines de sculptures, une trentaine de barrages hydrauliques, plusieurs dizaines de puits, une vingtaine d'inscriptions), isolés pour la plupart dans la campagne et difficile d'accès. Les découvertes ont été localisées à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*) et positionnées sur une carte géo-référencée.

L'ensemble du matériel est inventorié et les sources sont combinées dans le cadre d'une analyse spatiale. Cette analyse repose sur un système d'information géographique (SIG) en cours de conception à l'aide du logiciel ArcInfo, en tant qu'outil d'intégration et de traitement des données spatiales et thématiques. Ce SIG est développé sur la base d'un modèle conceptuel de données – structuré selon une méthodologie inspirée par le géographe François Bouillé – mettant en relation cinq grandes thématiques : le milieu naturel, le paysage anthropique, le paysage rituel et sacré, le paysage économique (systèmes d'irrigation et agriculture), et la chronologie. Sur la base de ce modèle, les données sont introduites couches par couches et les couvertures sont définies.

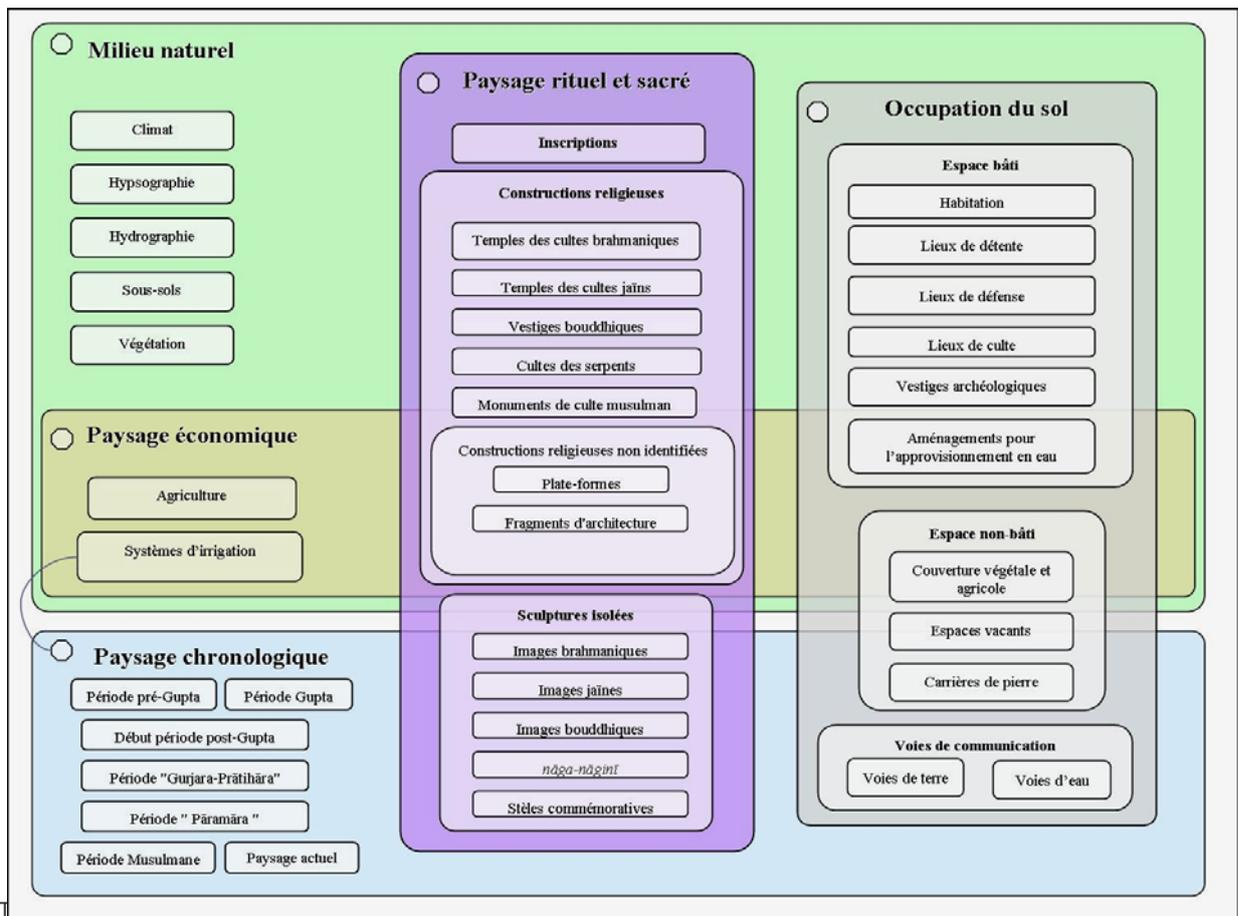
Le modèle conceptuel de données

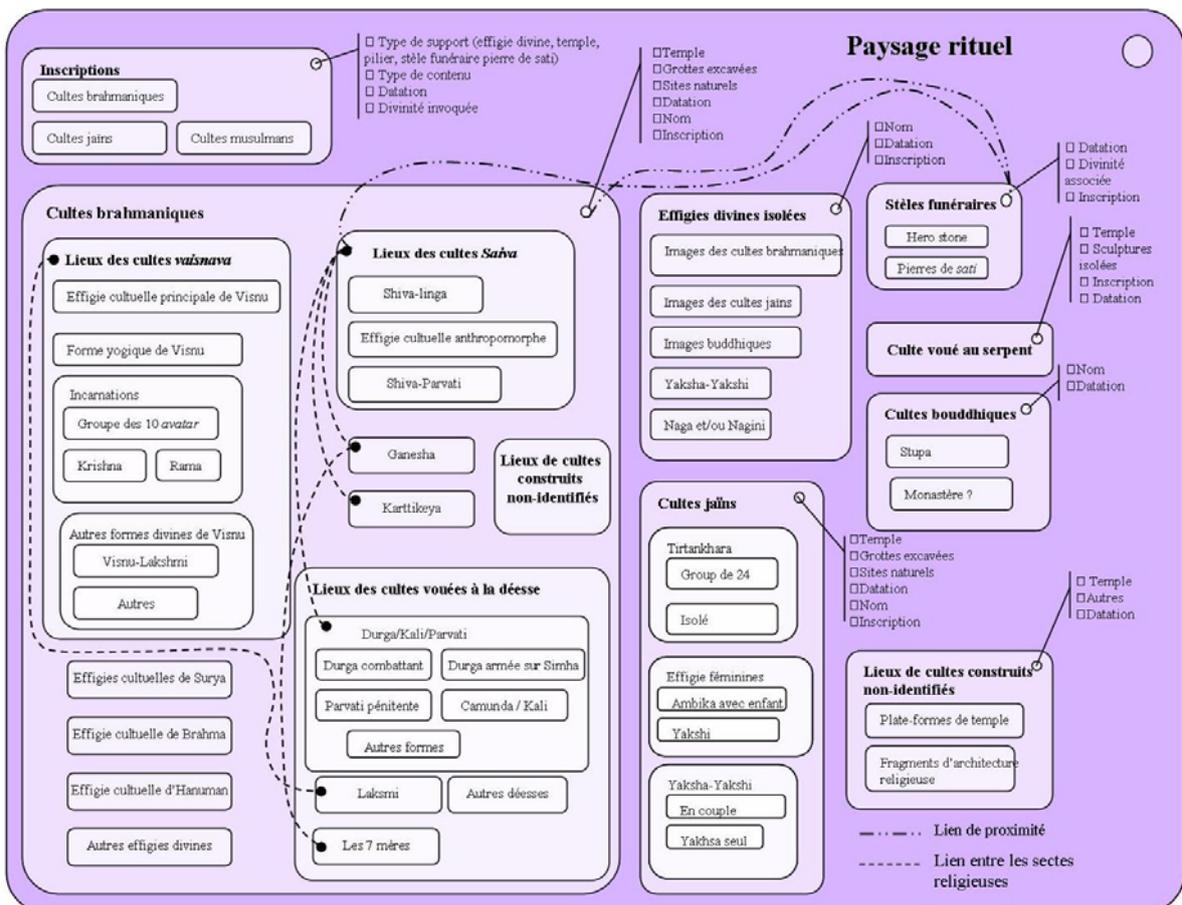
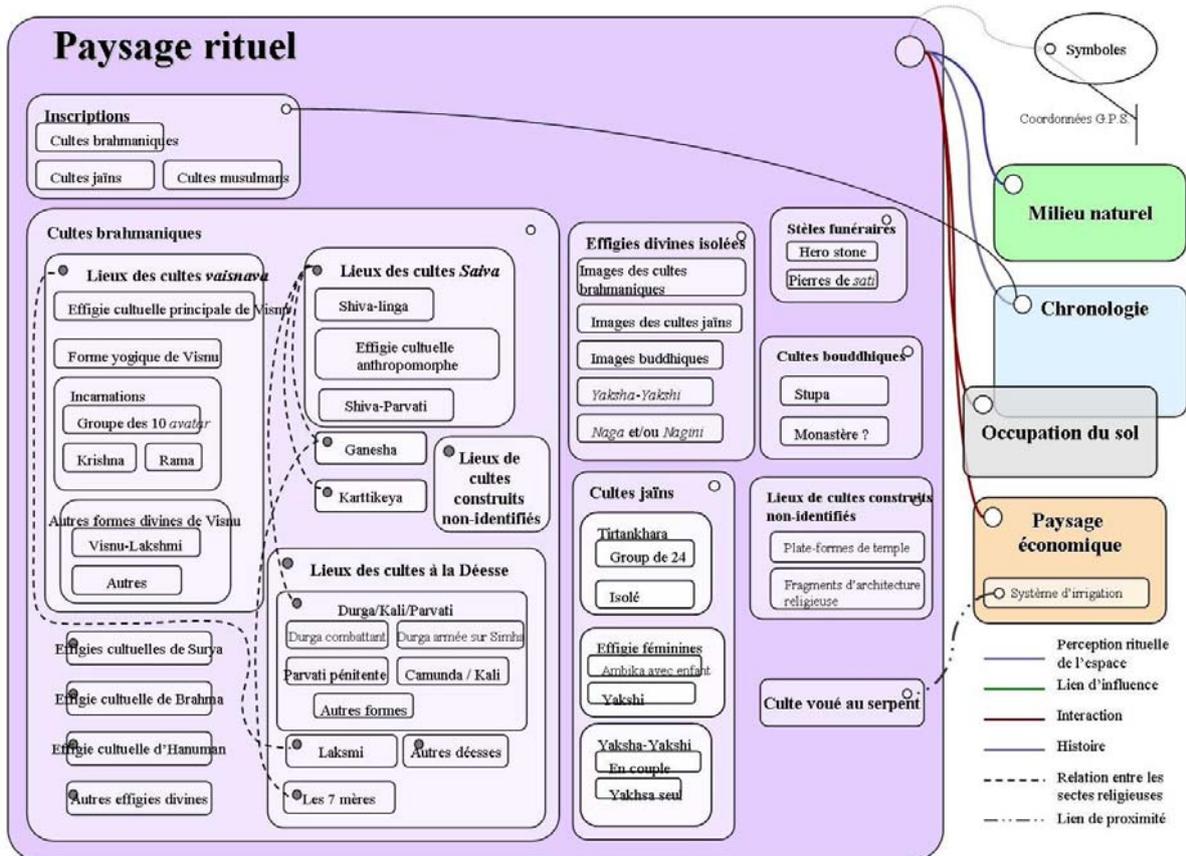
Réalisé à partir de la méthode HBDS (*Hypergraph Based Data Structure*)

Les phénomènes considérés et analysés, et la définition des ensembles et des liens



Le modèle conceptuel de données et l'hyperclasse du paysage rituel développé





Ce modèle doit faciliter la préparation et la gestion des données en vue des fonctionnalités de traitements du logiciel d'ArcInfo⁶.

Construction de l'information spatiale de base

Cette construction se fait à l'échelle géographique du 1/50 000^e, à partir des cartes de l'Indian Survey, datées de 1976. Ces cartes géoréférencées sont numérisées en vue de la constitution d'un modèle numérique de terrain (MNT). Des données spatiales sont également issues d'informations satellitaires (téléchargées à partir du site d'ESDI - Earth Science Data Interface) et d'images de GoogleEarth (images copiées, puis géoréférencées). Ces dernières seront couplées avec le modèle numérique de terrain.

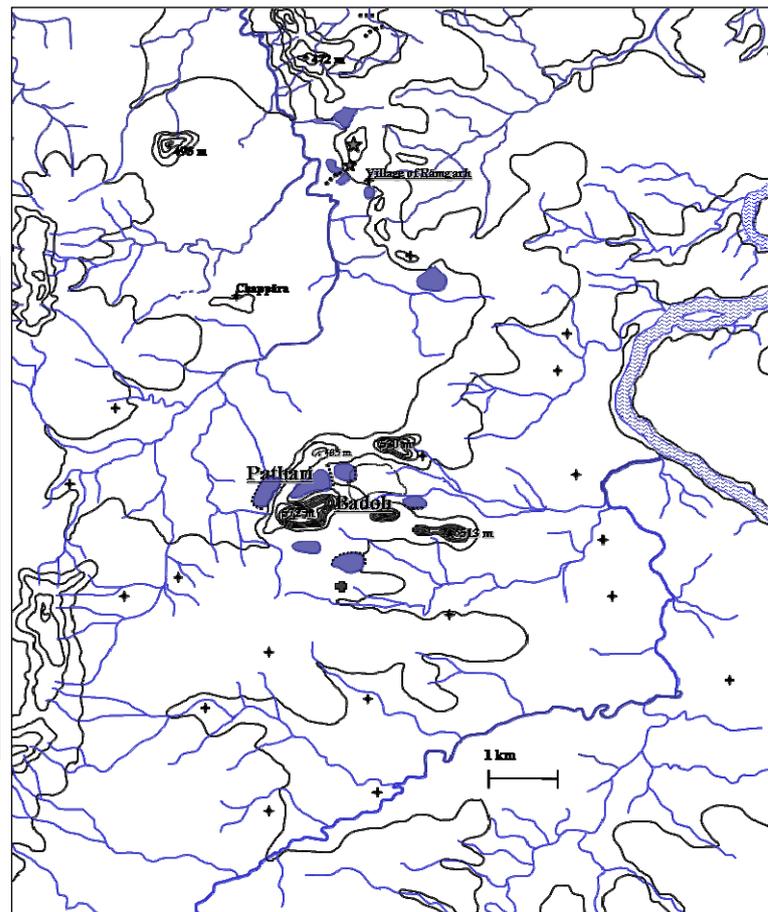
Des tables de données localisées (correspondant aux divers vestiges découverts durant l'enquête et géoréférencés à l'aide du GPS) sont constituées, puis intégrées dans ArcInfo, afin de mettre en évidence la distribution spatiale et chronologique des temples et des images cultuelles des différentes sectes, celle des systèmes d'irrigation, d'interroger cette distribution et de la confronter aux contextes environnementaux, aux données socio-économiques et anthropiques, à celles de l'histoire politique et religieuse, ainsi qu'à la perception des habitants de l'espace et du paysage aujourd'hui.

Modes d'analyse spatiale envisagés

Simulation et analyse spatiale en terme d'algèbre de carte, de relations spatiales topologiques, etc.

Situation géographique et historique du site, aire d'investigation

Source : *Indian Survey Map, 1976*



⁶ G. Fussman, D. Matringe, E. Ollivier, F. Pirot, T. Saint-Gerand, "Un système d'information géographique sous ARC-INFO appliqué à la recherche en sciences humaines : Le programme "Chanderi" de morphologie urbaine historique", dans *Mémoire Vive, Bulletin de l'association française pour l'histoire et l'informatique*, Numéro double 15-16, décembre 1996, p. 33-47.

OFFRE(S) CULTURELLE(S) URBAINES(S) EN EUROPE ?

Virginie Crémades

Laboratoire MTG, CNRS FRE 2795 – IDEES, Université de Rouen

La culture est à l'heure actuelle au cœur des préoccupations médiatiques, politiques, économiques, sociales et culturelles. Les scientifiques s'y intéressent, mais cette notion polysémique s'appréhende différemment selon chaque discipline, et même au sein d'un même champ d'étude, des divergences apparaissent.

Ainsi, il semble indispensable d'expliquer ce que nous entendons par culture, et plus précisément par offre culturelle. Nous définissons la culture au sens large en suivant celle formulée par l'UNESCO comme :

l'ensemble des traits distinctifs, spirituels et matériels, intellectuels et affectifs, qui caractérisent une société ou un groupe social. Elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances.⁷

Nous nous intéressons seulement aux équipements culturels, en ce qu'ils constituent un objet concret, identifiable et localisable sur le territoire. Ce sont à la fois les structures, permettant la création et la diffusion culturelle, pérennes, tels que les musées, mais aussi les structures temporaires, tels que les festivals. Cette offre caractérisée par les équipements culturels permet de s'intéresser aussi au territoire où ils se situent principalement, c'est-à-dire dans les villes.

Avec l'augmentation du temps libre, la demande culturelle est de plus en plus forte, les villes se doivent d'offrir un panel d'équipements culturels nombreux et diversifiés. Ainsi ils représentent un double enjeu urbain. Un enjeu interne, car la culture véhicule un sentiment d'appartenance au territoire, mais aussi un enjeu externe, car la concurrence culturelle entre les villes est accrue, médiatisée, elle est le reflet de la notoriété ou au contraire de l'anonymat de certaines villes.

Nous avons choisi d'étudier les équipements culturels urbains, plus spécialement ceux situés dans les agglomérations de plus de 200 000 habitants. Ce seuil permet de disposer d'un panel varié d'agglomérations, de moyennes à très grandes. Ces dernières se situent dans un des 25 pays de l'Union Européenne, ainsi qu'en Suisse et en Norvège.

Notre recherche s'inscrit dans la géographie urbaine et plus précisément l'étude des services urbains à la population. La culture est, au sens large, en termes d'identité, de croyances ou de coutume, très étudiée par les géographes, et ce, depuis le XIX^e siècle.

Elle l'est beaucoup moins en ce qui concerne l'étude des équipements culturels. Ils sont souvent étudiés parmi d'autres équipements ou bien sur un territoire particulier, urbain, régional ou national. Ainsi, des recherches intéressantes ont été menées, parmi celles-ci, il existe des études comparatives : sur les équipements culturels dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants en France (Lucchini, 2002), mais aussi sur les villes européennes prenant en compte, parmi d'autres indicateurs, des indicateurs culturels (musées, sites grandes manifestations culturelles) (Rozenblat, 2003). D'autres recherches quant à elles sont plus ciblées : par exemple celle sur les équipements culturels en région parisienne (Préteceille, 2000) ou celle sur l'accessibilité aux services et équipements collectifs pour les personnes résidant en HLM à Montréal prenant également en compte des équipements culturels parmi d'autres (Apparicio, 2002).

Ces recherches ne se sont pas intéressées à la comparaison spécifique des équipements culturels entre villes européennes. Or dans l'Europe en construction, le développement des réseaux, fait qu'ils représentent un enjeu pour ces villes. Et il est intéressant de voir si les villes disposent toutes des mêmes équipements, si nous voyons apparaître des spécificités locales, et de comprendre quelles variables interviennent pour expliquer cette répartition.

Nous avons donc pris en compte 227 agglomérations européennes, de plus de 200 000 habitants, pour lesquelles nous avons du créer une base de données culturelles comparables, sachant qu'il n'en existait pas. Ces

⁷ Déclaration de Mexico sur les politiques culturelles. Conférence mondiale sur les politiques culturelles, Mexico City, 26 juillet - 6 août 1982.

données devaient prendre en compte une culture urbaine contemporaine au sens large, vécue et perçue par les habitants. Nous avons donc cherché des catégories d'équipements prenant en compte quatre dualités de la culture, à savoir : la culture temporaire et permanente, d'élite et populaire, mondiale (basique) et locale (spécifique), de service public et d'industries culturelles.

Nous avons retenu 15 catégories montrant différentes facettes de la culture : Equipements touristiques culturels selon le Guide Vert Michelin Europe 2003, Equipements touristiques culturels selon The Rough Guide to Europe 2006, Festivals des arts de la rue, Expositions d'art les plus plébiscitées par le public en 2003, Fête européenne de la musique, Festivals de l'association européenne des festivals, Festivals Lyriques, Editeurs, Festivals de film d'animation, Cinémas appartenant au réseau Europa Cinéma, Sites classés au patrimoine mondial par l'UNESCO, Festivals de films selon *European Coordination of film festival*, Capitales européennes de la culture, Mois culturels européens et Musées d'art.

Il est important de préciser que 21 agglomérations ne disposent d'aucun de ces équipements, mais que néanmoins, elles disposent d'équipements culturels, chacune ayant des structures basiques : une bibliothèque, un théâtre, un festival... Il nous a paru intéressant d'étudier pour quelles raisons certaines agglomérations ont un panel culturel plus ou moins important, et quelles variables sont les plus corrélées au dispositif culturel urbain.

A partir de ces 15 catégories, nous avons construit un indice de diversité culturelle. Pour chaque agglomération, nous avons donc accordé un point à chaque catégorie culturelle, lorsqu'elle dispose d'au moins un équipement dans cette catégorie. Ainsi chaque agglomération pouvait obtenir un indice allant de 0 à 15, en réalité il varie de 0 (pour 21 agglomérations) à 13 (pour 2 agglomérations : Amsterdam et Bruxelles). Cet indice évite ainsi l'écueil d'accentuer le poids des agglomérations millionnaires tels que Londres et Paris en termes quantitatifs. Nous avons aussi comptabilisé les équipements culturels et nous les avons également séparés selon 3 critères : équipements temporaires, permanents et manifestations exceptionnelles.

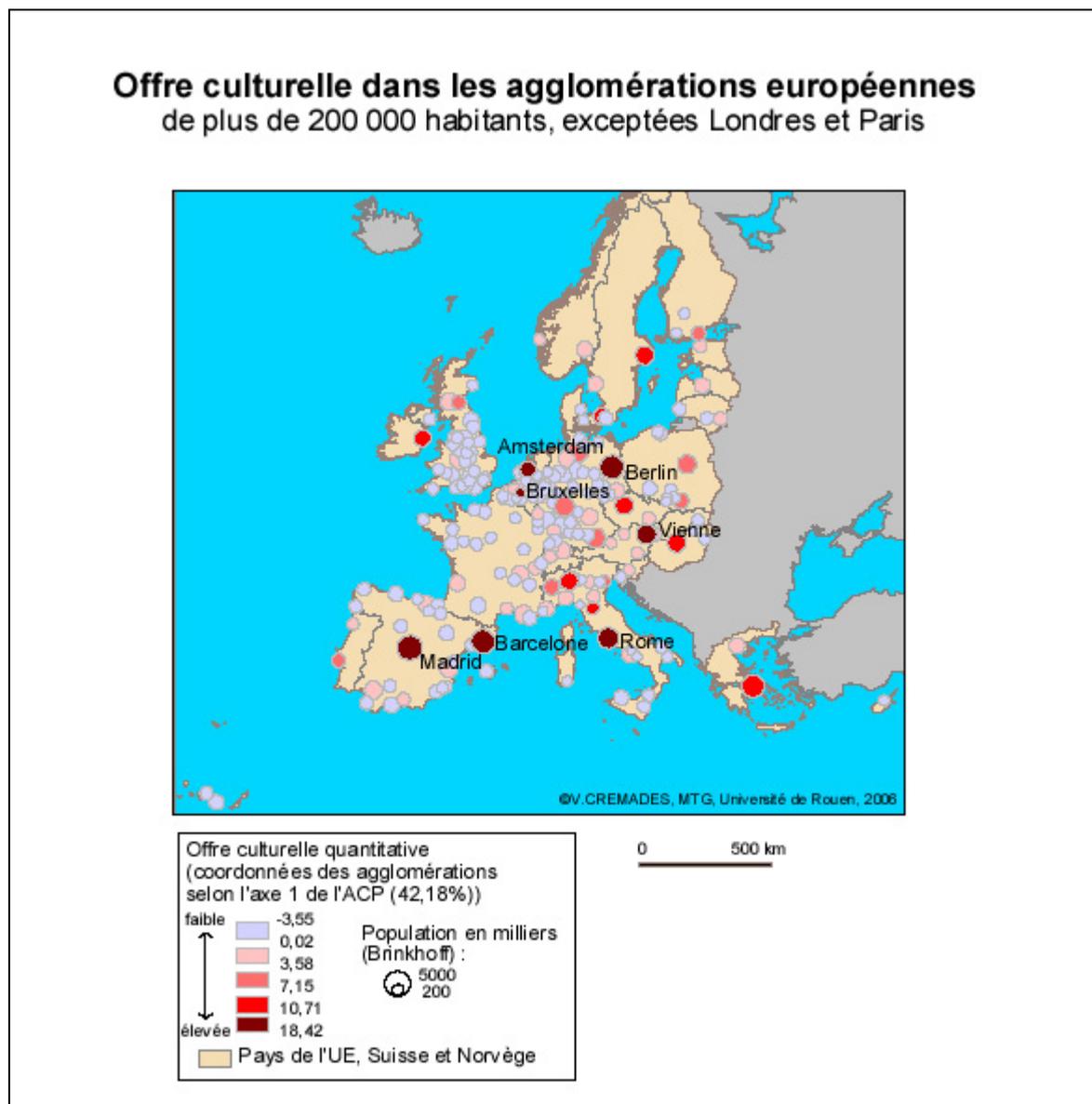
Nous avons ensuite choisi 10 variables non culturelles : Population (Brinkhoff), nombre de Foires et salons (2006), Capitale, nombre d'Expositions universelles, nombre d'Hôtel Relais et châteaux, Trafic aéroportuaire (nombre de passagers en 2005), Produit intérieur brut régional, nombre d'Hôtels selon les sites Internet des villes, nombre d'Hôtels d'après l'annuaire Europages et nombre d'Auberges de jeunesse.

Afin de simplifier et de mieux comprendre l'offre culturelle dans les agglomérations européennes nous avons réalisé une analyse en composantes principales sur l'ensemble de ces variables avec l'ensemble des agglomérations sauf Londres et Paris. Cette analyse classique de la statistique multivariée permet de simplifier un grand nombre de données quantitatives. Elle met en évidence les interrelations entre les variables et fait ressortir les ressemblances et différences entre les agglomérations.

Les deux premiers axes représentent plus de 50% de la variance. Nous avons cartographié les coordonnées des individus.

Le premier axe factoriel (42,18%), met en relief l'offre culturelle des agglomérations en termes quantitatifs. Nous voyons un gradient, des agglomérations ayant le moins d'offre, à celles disposant d'une offre variée (Rome, Vienne, Madrid, Berlin). Leur offre culture globale est importante, que ce soit des équipements permanents ou temporaires, et notamment en ce qui concerne le nombre d'équipements culturels touristiques, de cinémas et de musées d'art. Ainsi ces agglomérations se caractérisent par une offre culturelle classique.

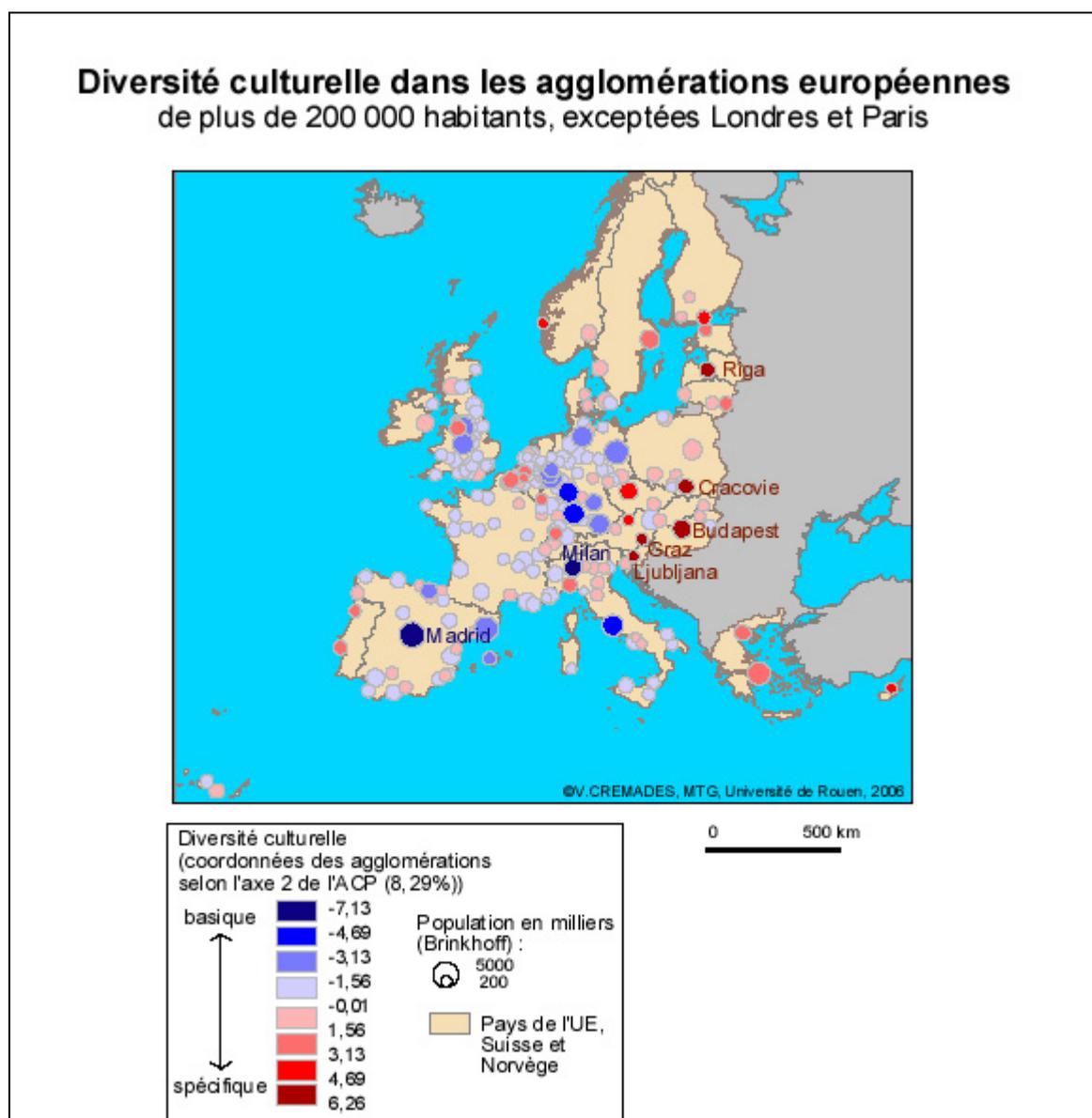
Ce gradient s'explique en partie par la hiérarchie urbaine, les agglomérations les plus peuplées sont celles qui disposent d'un nombre important d'équipements culturels, les quatre premières agglomérations sur cet axe sont toutes très peuplées. Il faut cependant relativiser puisque Bruxelles ou Amsterdam ne sont pas des agglomérations millionnaires. Nous pouvons noter que leur attractivité touristique est un élément à prendre en considération. En effet, ces agglomérations disposent d'une offre hôtelière importante.



Le second axe factoriel (8,29%) quant à lui traduit l'aspect qualitatif de l'offre culturelle. Ainsi nous voyons apparaître une double tendance. Tout d'abord, des villes comme Graz, Ljubljana, Cracovie, Riga ou Budapest (en marron) ont une offre culturelle spécifique. En effet, elles ont accueilli des manifestations culturelles exceptionnelles. Toutes les cinq ont organisé les mois culturels européens et deux d'entre elles ont également été élues capitales européennes de la culture (Graz et Cracovie). Cela nuance le rôle de la hiérarchie urbaine puisque ces agglomérations ne sont ni les plus peuplées, ni situées dans les régions les plus riches.

A l'inverse, la seconde tendance montre des agglomérations comme Milan et Madrid (en bleu foncé) peuplées, de régions riches, nœud aéroportuaire, attrayante au niveau touristique ou ayant organisé des expositions d'art reconnu mondialement qui ont une offre culturelle basique importante.

Entre ces deux tendances un grand nombre d'agglomérations ne se distinguent ni vers une offre d'équipements basiques, ni vers une offre culturelle spécifique (en bleu et rouge pâle).



Paris et Londres ont été volontairement ôtées de cette analyse car la hiérarchie urbaine les avantage dans presque toutes les catégories. Néanmoins les calculs d'indice de primatie (différence entre la part de la première agglomération et de la seconde) ont montré que leur primatie était relative puisque l'indice est au maximum à 3,86 (pour le nombre d'éditeurs).

Finalement, tenter de produire un modèle culturel européen est un exercice difficile. L'offre culturelle globale des agglomérations est bien corrélée (plus de 70%) avec la population, le trafic aéroportuaire en nombre de passagers, le nombre d'hôtels ou encore le nombre d'expositions universelles qui ont eu lieu dans la ville. Elle l'est également dans une moindre mesure avec le PIB régional (0,63). Donc la partie quantitative de la culture s'explique relativement bien par la hiérarchie urbaine.

En ce qui concerne la part de l'offre culturelle qualitative, de nombreuses catégories ne sont corrélées à aucune des variables choisies, comme la fête européenne de la musique ou bien encore les sites du patrimoine mondial de l'UNESCO. La recherche se poursuit pour tenter d'expliquer ces inconnues.

De plus, il est intéressant de voir que certaines agglomérations ne disposent d'aucun équipement parmi le panel choisi. Ainsi, des pistes de réflexion sont à creuser pour expliquer ce fait, notamment au niveau des activités économiques des agglomérations. En effet, après une première prospection il ressort que ces villes sont plutôt de type industriel et portuaire. La crise connue dans ces secteurs pourrait être une explication au fait que ces agglomérations n'aient pas choisi la culture comme priorité urbaine.

Bibliographie

- Apparicio, (P.), *Apport des systèmes d'information géographique à l'étude de l'insertion des HLM dans les quartiers montréalais*. Doctorat en géographie, Université du Maine, France, 2002.
- *Déclaration de Mexico sur les politiques culturelles*. Conférence mondiale sur les politiques culturelles, Mexico City, 26 juillet - 6 août 1982.
- Lucchini (F.), *La culture au service des villes*, Anthropos, 2002.
- Préteceille (E.), Les inégalités d'équipement culturel en Île-de-France, in *Données Urbaines 3*, Pumain (D.), Mattei (M.-F.) (coord.), Anthropos, 2000.
- Rozenblat (C.), Cicille (P.), *Les villes européennes. Analyse comparative*, La documentation française, 2003.

ARCHEOLOGIE SPATIALE DES SITES PREROMAINS EN LANGUEDOC CENTRAL

Célia Lagarde

Centre Camille-Jullian - UMR 6573 CNRS

Résumé : Cette thèse a pour ambition d'allier les sciences de l'Archéologie à celles de l'Informatique et plus particulièrement par l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique dans le but de mettre en évidence une hiérarchisation de l'habitat antique dans le Languedoc central. Cette pluridisciplinarité doit être perçue au travers de ce projet de recherche comme un moyen nouveau d'observation, de représentation et d'analyse des interactions entre les peuplements et les systèmes de villes à une époque donnée. L'archéologie spatiale aborde l'analyse des dynamiques de systèmes de peuplement, des localisations par le biais de l'analyse spatiale. Véritables outils d'analyse de l'espace, les SIG apportent de nouvelles possibilités d'analyse des interactions de l'Homme du passé avec son milieu.

Mots-clés : SIG, Base de Données, Languedoc central, dynamique et hiérarchisation territoriale, archéologie spatiale, programmation ArcInfo - AML, accessibilité pédestre, chemins théoriques

Introduction

L'analyse des relations qu'entretenaient les différents peuplements préromains du Languedoc central est une recherche hasardeuse dans la mesure où très peu de données archéologiques sont disponibles et peuvent être exploitées. Face à la pauvreté des écrits et à la faible empreinte spatiale de ces peuplements mis au jour par les fouilles, l'utilisation des techniques informatiques apparaît aujourd'hui comme un véritable outil d'aide à la réflexion.

L'objectif de cette recherche est de mettre en évidence les relations potentielles que pouvaient entretenir les différents sites préromains du Languedoc central au regard des contraintes inhérentes au support spatial dans lequel s'inscrivaient ces peuplements.

Sur la base des données archéologiques récoltées au cours de nombreuses fouilles réalisées sur ce territoire, une méthodologie a été mise en place dans le but de modéliser les relations théoriques inter sites. Des techniques d'analyse statistique à la modélisation spatiale par l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique, cette méthodologie prend appui sur de nombreux concepts et outils empruntés aux sciences géographiques.

La description de cette méthodologie constitue l'objet principal de cette communication.

1. Un projet qui s'inscrit dans un cadre historique et géographique particulier

1.1. *Que savons-nous de la dynamique territoriale en Languedoc central ?*

L'analyse de la dynamique territoriale des populations protohistoriques de Gaule méridionale en liaison avec les processus d'urbanisation du Bronze final à l'aube de la Conquête permet d'illustrer plus largement la théorie géographique des « territoires empilés » que des rivalités inter- ou supra-ethniques.

Aux VIe et Ve s. av. J.-C., à la suite de la fondation de Marseille et de son essor économique, on assiste à un élan urbain remarquable débouchant sur la mise en place de territoires villageois, à dominante vivrière, peu hiérarchisés. Ce phénomène résulte d'une part, d'une évolution de l'organisation sociale des populations indigènes et d'autre part, de la participation des Gaulois du Midi au réseau commercial méditerranéen.

Nous sommes dans l'arrière-pays d'Agde (Agathé), comptoir grec et colonie massaliote. « Il est désormais acquis que la zone d'Agde et la vallée de l'Hérault constituent la limite orientale extrême de la diffusion de la culture ibérique » (Py 1993, 144). Enfin, la « vallée de l'Hérault et de son affluent la Lergue » furent « l'une des voies de pénétration les plus importantes vers l'arrière-pays » (Clavel-Lévêque, 1970, 82). Du point de vue culturel, ce secteur est au contact de quatre unités maintenant bien définies : le Languedoc occidental, le Languedoc oriental, la région d'Agde et les Cévennes.

L'étude de l'impact d'Agathé sur son arrière-pays (commerce, échanges, économie, etc.), la définition des faciès indigènes et des différentes influences (celtiques, ligures, ibères, méditerranéennes) sont alors particulièrement importantes à cerner pour mieux appréhender la dynamique territoriale du Languedoc central.

1.2. Un contexte géographique qui participe à l'organisation de réseaux contrastés

Le choix du territoire d'observation, à savoir ici le Languedoc central, n'est pas anodin. En effet, le contexte géographique participe véritablement à l'organisation de réseaux contrastés.

Aussi, l'analyse des données générales disponibles et leur mise en perspective semblent bien indiquer en effet l'importance stratégique du Languedoc central et de ses marges. Entre Orb et Lez, cette zone constituait pour les peuples indépendants du sud du Massif Central, un axe de pénétration essentiel en direction de la plaine languedocienne.

Cette région constituait aussi un débouché de premier plan et un axe de passage Sud/Nord incontournable pour les produits italiques, transitant par Agde. L'apparition, dans le courant du II^e s. av. J.-C., d'agglomérations de plaine constituant manifestement des places d'échanges ouvertes est bien là pour montrer la précocité de ce processus et ne trouve de parallèle, en Languedoc, que dans la vallée de l'Aude.

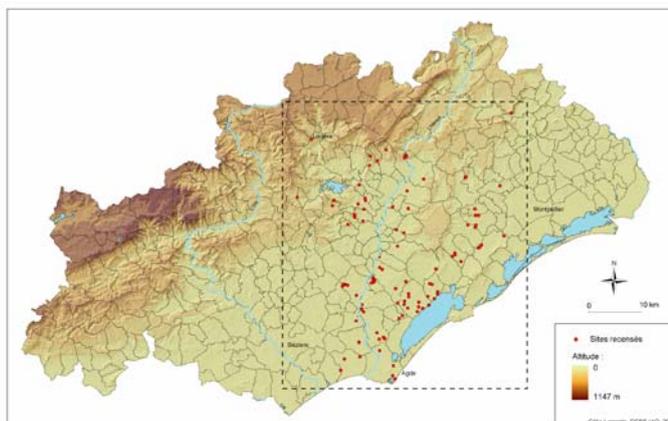


Figure 1 : Présentation du territoire d'étude

2. Une hiérarchisation de l'habitat difficile à appréhender qui nécessite une méthodologie pluridisciplinaire et innovante

Pour tenter de dégager les grands traits de l'organisation spatiale des sites préromains du Languedoc central, nous proposons d'appliquer des méthodes de mises en réseaux des sites et une modélisation appropriée qui intègre des logiques de fonctionnement d'un système spatial et ses contraintes physiques et rende compte des pratiques spatiales de cette période. Cette approche de l'organisation spatiale du Languedoc central croise des données archéologiques et l'analyse spatiale au sein d'un Système d'Information Géographique. Cette mise en place méthodologique et technique intégrant les contraintes orographiques et hydrographiques dans les mesures d'espacements permet de s'affranchir des distances à vol d'oiseau et de proposer des distances-temps dans les valuations des graphes générés. Cette méthodologie, basée à la fois sur une identification de hiérarchies fonctionnelles entre les sites sur la base d'analyses statistiques de descripteurs archéologiques et sur une simulation de fonctions de proximités et de facilités de déplacement, nous permettra, à terme, de mettre en évidence les relations entretenues par certains sites et les raisons fonctionnelles et physiques de ces dépendances. En effet, mettre en évidence l'organisation spatiale d'un territoire nécessite des mesures d'accessibilité, mais doit également expliciter les relations qu'entretiennent ces sites (échanges commerciaux et de services, relation de dépendance fonctionnelle) pour tenter de dégager les principales structures spatiales de ce système de peuplement. Concrètement, la méthodologie mise en place présente trois phases successives que nous allons décrire ci-après.

2.1. Liminaire technique sur les bases de données utilisées :

D'un point de vue méthodologique, en archéologie spatiale il est essentiel de croiser des données hétérogènes dans un protocole d'analyses permettant d'élaborer une synthèse. C'est pourquoi l'élaboration d'une base de données va permettre d'homogénéiser cette documentation archéologique. Plusieurs types de données ont été utilisés au cours de cette recherche.

Tout d'abord, pour la première étape de hiérarchisation des sites préromains du terrain d'étude, une base de données archéologique, a été réalisée. Elle représente le résultat d'un travail d'inventaire complet de tous les travaux touchant à ce territoire, des plus anciens jusqu'aux plus récents. Elle est composée notamment :

- des descripteurs techniques et fonctionnels qui fournissent l'information décisive pour identifier la fonction d'un établissement.

Outre la visualisation spatialisée de ces descripteurs, l'objectif de ce SIG est de pouvoir reconstituer numériquement le territoire dans lequel s'inscrivent spatialement les sites préromains et qui en conditionne les relations. La visualisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) en 3 dimensions (ci-contre) a pour but de mieux apercevoir les contrastes observés sur le relief, les cours d'eau et la répartition des sites archéologiques. L'utilisation d'un SIG raster (grille) est conduite par le croisement de données surfaciques concernant le relief (grille ou grid), des données linéaires concernant les cours d'eau (polylignes), et des données ponctuelles concernant les sites (points). Le pas de cellule choisi est de 50 mètres, plus petit pas rendu possible par la base de données sans aucune transformation. Nous avons opté pour le logiciel ArcInfo® qui dispose des fonctionnalités les plus simples et les mieux adaptées aux contraintes que nous posons et aux mesures d'espacement par l'utilisation des fonctions Pathdistance et Costpath (ESRI, 2003). La première fonction permet de mesurer pour chaque lieu du territoire les temps d'accès au site le plus proche avec la métrique de notre choix. La seconde permet de générer une nouvelle grille avec les tracés des plus courts chemins vers tous les sites.

Une première étape dans l'élaboration du SIG consiste à créer une grille (appelée « costgrid » dans la fonction Pathdistance) dans laquelle nous attribuons une rugosité spatiale fixe aux cellules du territoire, une rugosité dite « horizontale ». Un coefficient de rugosité est affecté à chaque cellule de la grille en fonction de la présence ou de l'absence d'un cours d'eau. Cela traduit le frein des déplacements à pieds dans un cours d'eau que nous estimons à vingt fois celui du même déplacement sans contrainte. Rappelons que les déplacements sont réalisés à pied, que certains des cours d'eau du territoire actuel sont très vifs et qu'ils sont considérés comme non navigables bien que par endroit certains aient pu l'être. Les contraintes liées au relief lors d'un déplacement, contraintes variables, passent par une deuxième étape de la modélisation, celle de la mise en place de la rugosité « verticale » avec l'aide de la fonction vitesse de déplacement (explicitée ci-après).

2.4. Troisième étape : la simulation des déplacements des populations pour une mise en réseau des sites préromains du Languedoc-central:

Une façon très simple, mais couramment utilisée en archéologie, pour se faire une idée de l'étendue des « territoires » autour de chaque établissement est de calculer les « polygones de Thiessen ». Le SIG nous permet de faire beaucoup mieux, car il nous offre la possibilité de calculer les coûts (en énergie) du déplacement autour d'un établissement de façon non linéaire.

Il nous a permis tout d'abord de mettre en place une fonction de vitesse de marche qui dépend de la pénibilité des montées et des descentes.

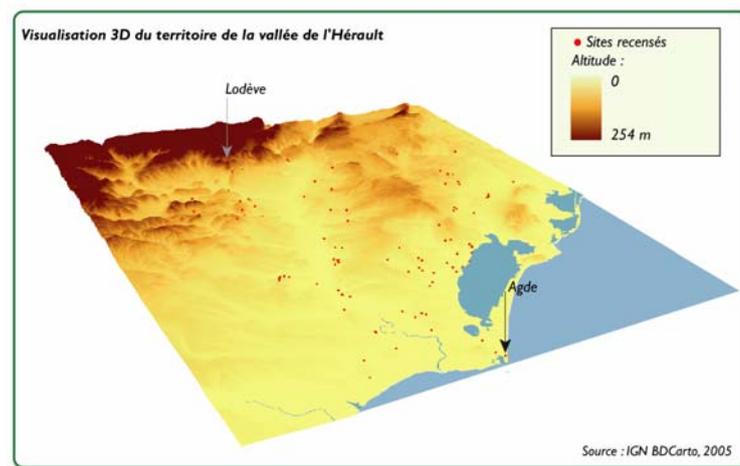


Figure 3 : Visualisation 3D du territoire

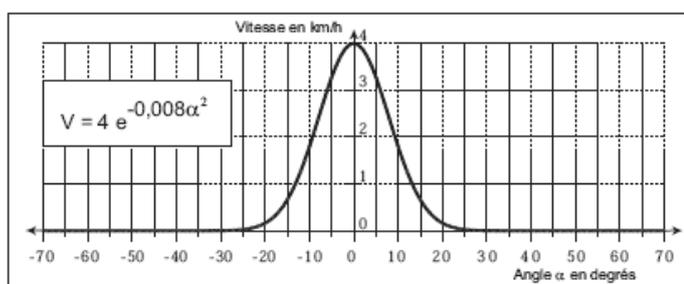


Figure 4 : Représentation de l'accessibilité pédestre inter-sites

La modélisation dans un SIG de ces rugosités verticales et horizontales et de la fonction vitesse nous permettra, par la suite, de reconstituer les chemins théoriques empruntés par les hommes et les distances-temps pour se rendre d'un site à l'autre. La vitesse de marche des individus est posée comme une fonction de l'angle de la pente du déplacement. Après avoir fixé une vitesse maximale sur terrain plat de 4 km/h, de 2 km/h lors d'une élévation de 10° et considéré la fonction comme symétrique (vitesses égales pour un même angle de descente ou de montée), nous avons défini par calibrage la vitesse de marche comme une fonction exponentielle inversée de la pente (Figure 4, ci-dessus).

Après avoir posé tous ces paramètres de la modélisation, **une carte d'accessibilité entre les différents sites du Languedoc central a pu alors être réalisée. Ce premier calcul est déterminant pour bien comprendre les centralités et les proximités entre les sites, facteurs de déplacements.** Cette « *carte des coûts* » est une carte qui indique le temps nécessaire afin d'aller d'un point à un autre. Elle se construit en calculant, pour chaque pixel, la durée que l'on juge nécessaire pour atteindre tous les autres sites à partir de plusieurs points. Pour chaque pixel, le coût du déplacement vers l'habitat le plus proche a été calculé. Mais au lieu de faire ce calcul uniquement à partir de la distance linéaire (à vol d'oiseau), le relief, les barrières paysagères (le réseau hydrographique) ont été pris en compte.

Enfin, la dernière étape de cette méthodologie consiste à **simuler les déplacements des populations en modélisant les chemins théoriques inter-sites en tenant compte des rugosités « verticales et horizontales »**, comme nous l'avons précisé auparavant. Les angles sont mesurés sur la pente des plus petits déplacements qui composent un chemin. Le pas d'une cellule de la grille d'analyse étant de 50 mètres, les déplacements se composent d'un enchaînement de déplacements élémentaires de 50 mètres pour un déplacement vers les 4 cellules voisines en points cardinaux et de $(50 \cdot \sqrt{2})$ mètres si les cellules voisines sont sur les diagonales. Pour chacun des points, la fonction Costpath d'ArcInfo® permet de générer une nouvelle grille avec les tracés des plus courts chemins vers tous les sites. La carte ci-contre montre ces chemins calculés les plus courts conduisant d'Agde vers d'autres sites du Languedoc central.

Une meilleure connaissance de l'organisation spatiale du territoire nécessite ces mesures d'accessibilité et d'espacement, mais elle doit également montrer les relations qu'entretiennent ces sites pour tenter de dégager les principales structures spatiales de ce système de peuplement. Les relations privilégiées

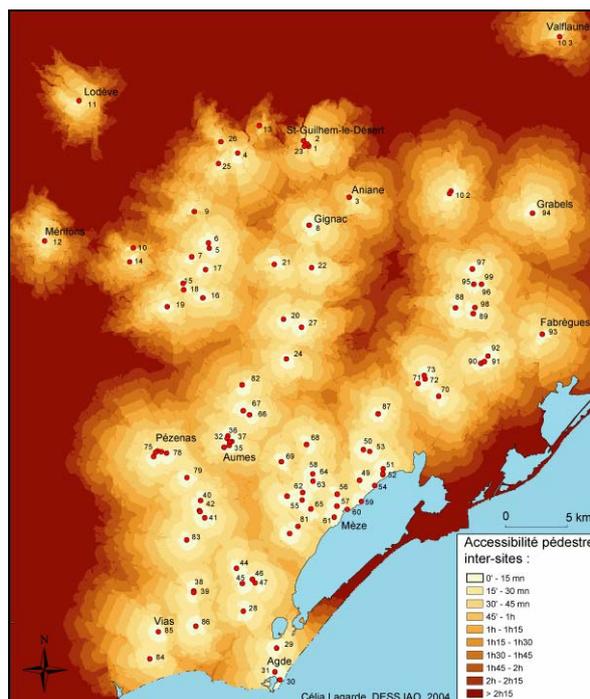


Figure 5 : Représentation de l'accessibilité pédestre inter-sites

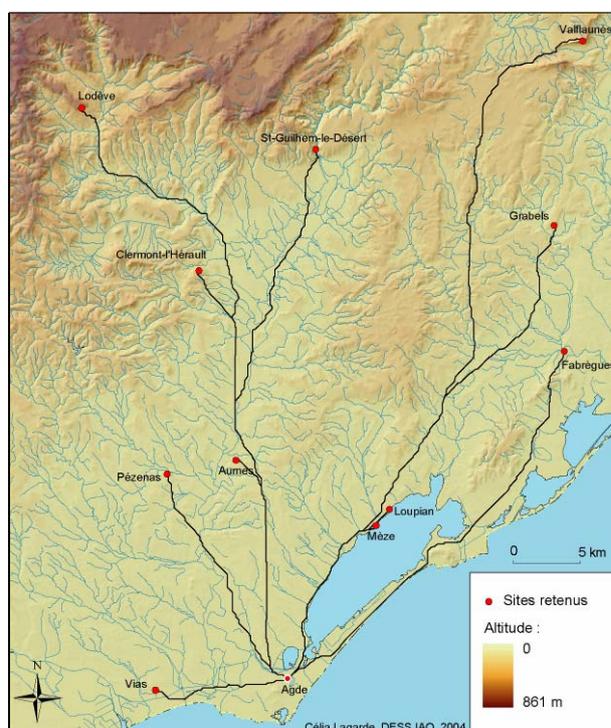


Figure 6 : Chemins théoriques calculés au départ d'Agde

entre les sites sont essentiellement des échanges commerciaux et de services, des relations de dépendance fonctionnelle. Dans cette étude, ces réseaux de relations sont basés sur les déplacements des individus pour accéder aux biens et aux fonctions non disponibles dans leur propre site. Cela suppose donc des déplacements vers des sites de tailles et de fonctions supérieures. Le couplage des informations de hiérarchisation fonctionnelle obtenues lors de la première étape avec les informations de proximité et d'accessibilités inter-sites nous permettra dans une ultime étape (restant à mettre en place) de mettre en évidence une véritable organisation spatiale.

Conclusion

Le but de ce travail de recherche est donc de constituer un outil de réflexion amenant une progression dans la compréhension et l'interprétation des logiques territoriales protohistoriques. Il ne s'agit pas, par conséquent, de proposer une reconstitution ni de ce système, ni des territoires protohistoriques, avec la modélisation des interactions qui contribuent à générer le système de peuplement et son expression territoriale, mais d'avancer dans la compréhension des processus de leur transformation.

Bibliographie

- Arcelin 2001 : ARCELIN (P.)** – Territoires et habitats dans l'évolution des sociétés celtiques de la gaule méditerranéenne. In : BERROCAL-RANGEL (L.), GARDES (P.) – *Entre Celtas e Íberos. Las poblaciones protohistóricas de las Galias e Hispania*. Madrid : Real Academia de la Historia, Cas de Velázquez, 2001, pp. 137-160.
- Barruol 2000 : BARRUOL (G.)** – Les peuples préromains du Sud du Massif Central d'après les sources écrites. In : *Actes du XXI^e colloque de l'Association Française pour l'Etude de l'Âge du Fer*. Conques-Montrozier, 8-11 mai 1997. Lattes, 2000, pp. 7-18 (MonoAMédit 6).
- Barruol 2002 : BARRUOL (G.)** – Apport des sources antiques. In : FICHES (J.-L.) dir. – *Les agglomérations gallo-romaines en Languedoc-Roussillon*. Lattes, 2002, pp. 23-32 (MonoAMédit 13).
- Bats 1999 : BATS (M.)** – Identités ethno-culturelles et espaces en Gaule méditerranéenne (principalement aux VI^e et V^e s. avant J.-C.). In : *Confini e frontiera nella grecità d'occidente*. Colloque de Tarante 1997. Taranto 1999, pp. 381-418.
- Bertoncello 2002 : BERTONCELLO (Fr.)** - *Villa/vicus* : de la forme de l'habitat aux réseaux de peuplement, *R.A.N.* 35, 2002, pp. 39-58.
- Chazelles et al. 2001 : CHAZELLES (Cl.-A. de), MAUNE (S.), SANCHEZ (C.), ROPIOT (V.)** – Autour des oppida de Montlaurès (Aude) et de Saint-Siméon (Pézenas, Hérault) : méthodes et résultats d'une recherche sur le territoire vivrier de deux agglomérations protohistoriques (VI^e-V^e s. av. J.-C.). In : MARTIN ORTEGA (A.), PLANA-MALLART (R.) dir.- *Territori politic i territori rural durant l'edat del Ferro a la Mediterrania occidental* : actes de la taula rodona d'Ullastret, 25-27 mai 2000, Girona : Museu d'Arqueologia de Catalunya, 2001, pp. 99-127.
- Clavel 1970 : Clavel (M.)** – *Béziers et son territoire dans l'antiquité*, Paris, Les Belles Lettres, 1970, 662p.
- Favory, Girardot, Nuninger, Tourneux 1999b : Favory (F.), Girardot (J.-J.), Nuninger (L.), Tourneux (F.-P.)** – « Archaeomedes II : une étude de la dynamique de l'habitat rural en France méridional dans la longue durée (800 av. J.-C. – 1600 ap. J.-C.) », *Bulletin de Liaison AGER*, nov. 1999, pp. 15-35.
- Garcia 1993 : GARCIA (D.)** - *Entre Ibères et Ligures. Lodévois et moyenne vallée de l'Hérault protohistorique*. Paris, CNRS éd., 1993, 358 p.
- Garcia 1998 : GARCIA (D.)**, *Carte Archéologique de la Gaule, département de l'Hérault, arrondissement de Lodève*. In : GARCIA (D.), SCHNEIDER (L.), Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 1998, 300 p.
- Garcia 2002 : GARCIA (D.)** – Dynamiques territoriales en Gaule méridionale durant l'âge du Fer, *Territoires celtiques – espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale*, Actes du XXIV^e colloque international de l'AFEAF, 2002, éd. Errance, pp. 88-103.
- Garcia 2004 : GARCIA (D.)** - *La Celtique méditerranéenne, Habitats et sociétés en Languedoc et en Provence VIII^e-II^e siècles av. J.-C.*, Paris, éd. errance, 2004, 206 p.
- Garmy 2005b : GARMY (P.), KADDOURI (L.), ROZENBLAT (C.), SCHNEIDER (L.)** - Logiques spatiales et « systèmes de villes » en Lodévois de l'Antiquité à la période moderne, *Antibes, XXV^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire à Antibes*, éd. APDCA, 2005, pp 335-346.
- Py 1993 : Py (M.)** – Les Gaulois du Midi. De la fin de l'âge du Bronze à la conquête romaine. Paris, Hachette, 1993, 288 p.
- Leveau 2002 : LEVEAU (Ph.)** – Les territoires. Un bilan des méthodes d'étude, *Territoires celtiques – espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale*, Actes du XXIV^e colloque international de l'AFEAF, 2002, éd. Errance, pp. 9-17.

Libourel 1999 : LIBOUREL (T.), LARDON (S.), CHEYLAN (J.-P.) - Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles, *Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, Revue Internationale de géomatique*, éd Hermès, vol.9, n°1/1999, pp. 45-67.

Lugand 2001 : LUGAND (M.), BERMOND (I.) - *Carte Archéologique de la Gaule, département de l'Hérault, arrondissement d'Agde et du bassin de Thau*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 2001, 448p.

Nuninger, Raynaud 2000 : NUNINGER (L.), RAYNAUD (Cl.) – Dynamique et système de peuplement en Vauvage (Gard) du VIII^e au IV^e s. av. J.-C. *In : Mailhac et le Premier âge du Fer en Europe occidentale. Actes du colloque international de Carcassonne, 1997. Lattes, 2000, pp. 25-34.*

Vial 2004 : VIAL (J.) - *Carte Archéologique de la Gaule, département de l'Hérault, Le Montpelliérais*. Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 2004, 479p.

MODELISATION MULTI-AGENTS ET APPLICATION AU SYSTEME DES VILLES EUROPEENNES (1950-2000) : LE MODELE EUROSIM.

Jean-Marc Favaro

doctorant – UMR8504 Géographie-Cités, CNRS/Université Paris I

Un Système Multi-Agents (SMA) se présente comme une application informatique dans laquelle des agents communiquent et interagissent en fonction d'un ensemble de règles prédéfinis et paramétrées par son concepteur. En raison de leur grande flexibilité permise par l'emploi de langages de programmation combinant indifféremment règles logiques et équations, les SMA se sont rapidement avérés des outils très intéressants dans le domaine de la modélisation de systèmes complexes pour lesquels le formalisme mathématique s'avérait inadapté. Ce qui est souvent le cas en sciences sociales, et tout particulièrement en géographie urbaine, où les tentatives de transposition de modèles physico-chimiques ou biologiques ont, malgré un intérêt indéniable, assez rapidement rencontré des difficultés pratiques et/ou théoriques difficilement surmontables.

Le modèle EUROSIM est un système multi-agents (SMA) qui vise à simuler l'évolution du système des villes européennes entre 1950 et 2050, développé par une équipe pluridisciplinaire dans le cadre du projet de recherche européen TiGrESS. Etant donné le contexte de cette rencontre, notre objectif n'est pas ici de présenter des résultats qui n'intéresseraient certainement que des géographes (ou des économistes) spécialistes des systèmes urbains modernes, mais plutôt d'utiliser ce modèle comme support à une présentation de ce type de modélisation, articulée autour des deux grandes phases qui constituent la démarche : conception et validation, et du point de vue du spécialiste du champ disciplinaire plutôt que de celui de l'informaticien⁸.

1. Conception du SMA

Les systèmes urbains se caractérisent par l'homogénéité de leur mode d'organisation hiérarchique, d'une part en terme de distribution des populations (Loi de Zipf, qui stipule un rapport quasiment constant entre la taille et la position hiérarchique d'une ville), et d'autre part en terme d'organisation spatiale (Théorie des lieux centraux de Christaller). Cette propriété, particulièrement surprenante si l'on considère la diversité des contextes historiques, a conduit à partir des années 70 au développement de nombreuses théories basées sur un formalisme mathématique strict, visant à « expliquer » à partir de mécanismes plus ou moins simples l'émergence de telles structures spatiales.

L'objectif d'EUROSIM est naturellement similaire, si ce n'est qu'il est appliqué à un système réel : identifier les règles qui seraient nécessaires et suffisantes pour reproduire une évolution cohérente avec celle observée pour le système des villes européennes entre 1950 et 2000. Mais la principale différence réside dans l'isomorphisme qu'autorise le SMA entre le modèle théorique dont l'on dispose (ou que l'on souhaite construire) et son implémentation, c'est-à-dire la possibilité d'introduire dans le modèle une partie significative des connaissances acquises sur les systèmes urbains, là où les modèles physico-mathématiques imposent souvent d'importantes contraintes. Un des aspects que nous avons voulu explorer avec ce modèle est la possibilité de faire coexister différentes logiques d'interaction spatiales, conduisant à l'émergence de réseaux de villes de nature différente.

1.1 L'objet-ville

Les SMA sont basés sur la notion d'**objet**. Un objet est une entité informatique (un programme) situé dans un environnement virtuel, plongé dans une structure, capable de :

- agir avec son environnement
- percevoir et partiellement se représenter son environnement (et les autres objets)
- communiquer directement ou indirectement avec d'autres agents

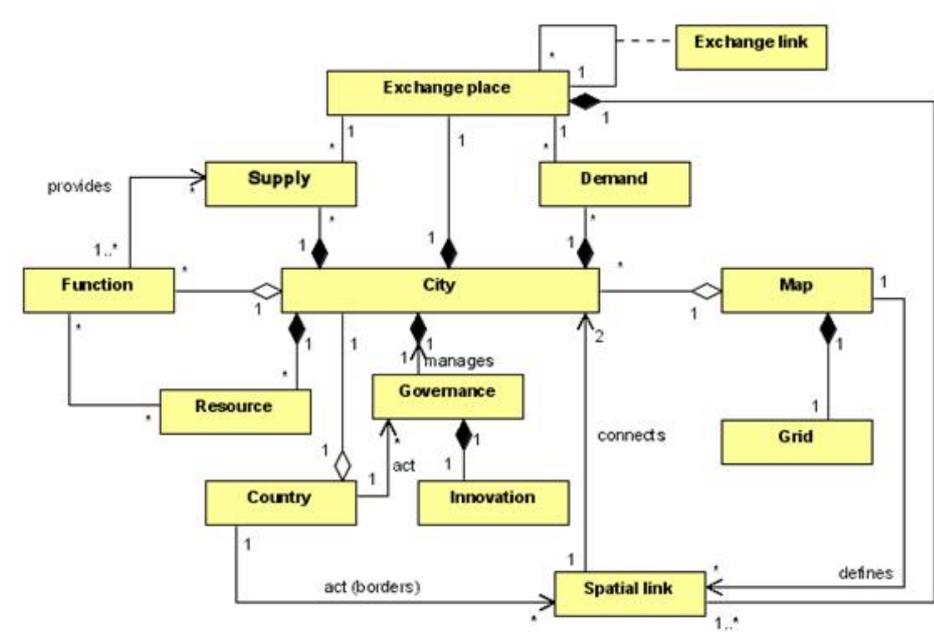
⁸ Les aspects de programmation proprement dits ne seront en particulier pas abordés.

- être mû par des tendances internes (but, recherche, utilité...)
- se conserver et/ou se reproduire

Un SMA est donc une collection d'objets plus ou moins autonomes et inter-agissants, et peut donc se concevoir, selon le degré de réalisme que l'on donne à ces derniers (en terme de fonctionnalités et d'attributs), comme un univers virtuel. Le concept d'objet se retrouve tout au long du développement du modèle, de sa représentation sous forme de schémas fonctionnels lors de la phase de conception (la notation UML), à sa programmation dans un langage orienté-objet (comme Java) lors de son implémentation. L'objet, comme métaphore, est donc présent tout au long de l'élaboration du modèle et présente un atout indéniable, en particulier dans le cadre de travaux impliquant géographes et informaticiens.

Les principaux objets qui constituent le modèle EUROSIM sont les villes européennes, auxquelles nous avons attribuées un certain nombre de caractéristiques et de fonctionnalités (voir figure 1) : une position géographique, une population, des spécialisations économiques, appelées fonctions, ainsi que différentes fonctionnalités leur permettant d'assurer la croissance de leur population (qui est leur objectif final) : produire des biens et des services, et effectuer des échanges marchands avec d'autres villes, le tout dans le but de satisfaire la demande de leur population.

Figure 1. Diagramme de classes de l'agent-ville



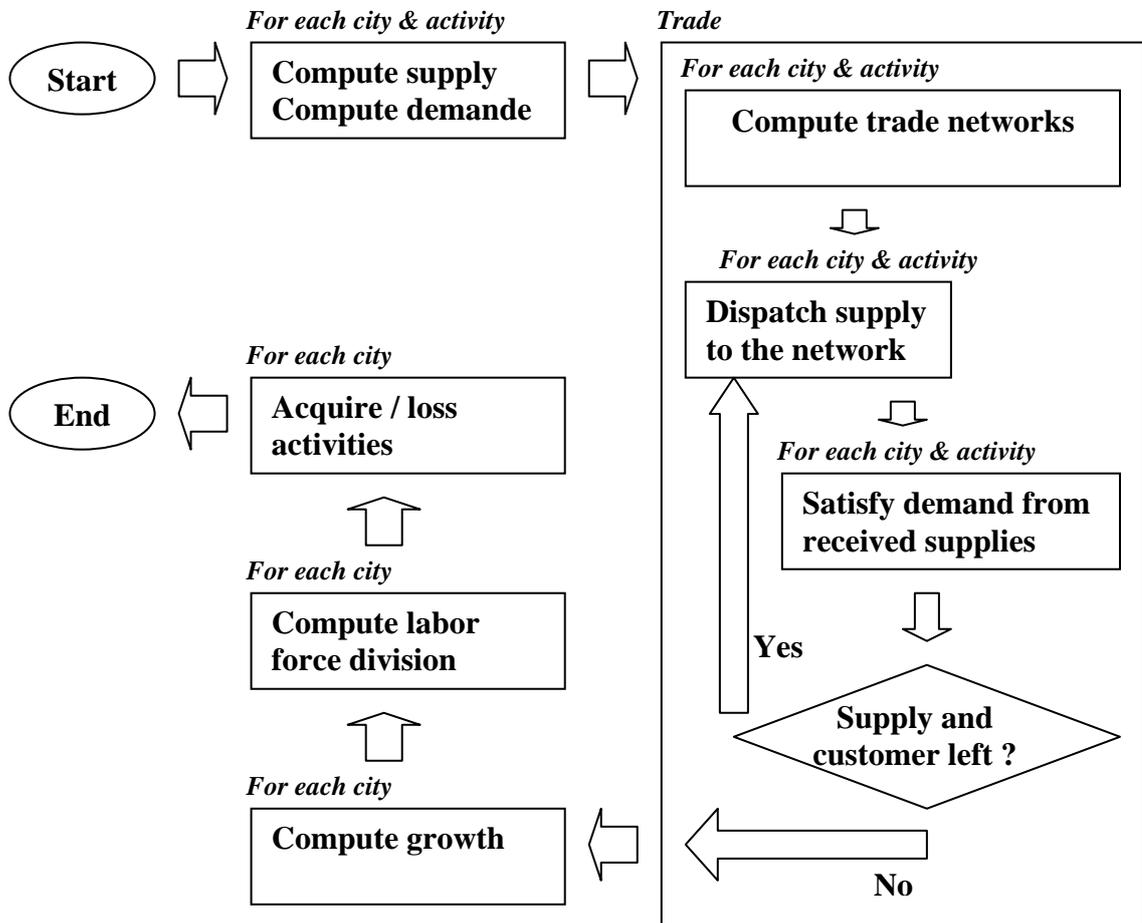
Le caractère métaphorique du SMA transparait véritablement dans la spécification des fonctionnalités et des caractéristiques d'un objet. L'emploi d'un langage informatique permet en effet de combiner aisément différents éléments :

- des règles logiques du type SI [...] ALORS [...]
- des équations
- des variables stochastiques
- des constantes

1.2 Architecture du système et ordonnancement des opérations

Le SMA est par essence dynamique. Il n'existe finalement que lors des simulations, qui consistent à faire réaliser par l'ordinateur supportant le programme un certain nombre d'opérations, selon un schéma pré-établi : un ordonnancement (figure 2). Ce dernier définit en particulier les règles de communication entre les agents.

Figure 2. Ordonnancement des opérations au cours d'un pas de temps



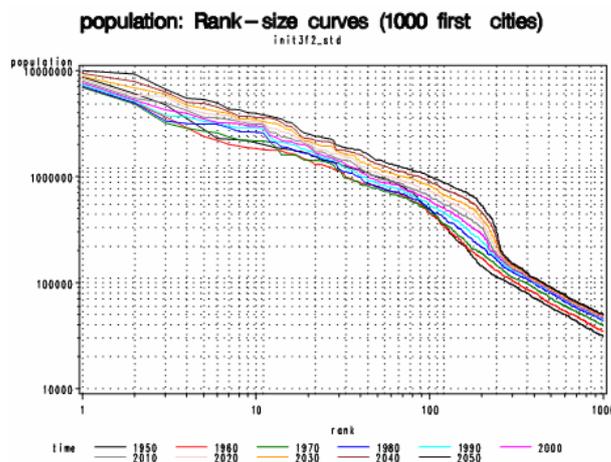
2. Validation du SMA

L'exécution du programme EUROSIM produit une quantité très importante d'informations chiffrées, puisque toutes les variables, pour chaque ville et à chaque itération (populations, flux commerciaux, etc...) sont enregistrées et stockées dans une base de données (environ 1Go). Se pose alors la question de savoir comment analyser ces résultats ? Quels indicateurs construire pour s'assurer de la validité du modèle, c'est-à-dire de sa capacité à reproduire correctement la réalité ?

2.1 La confrontation au réel

La première approche consiste naturellement à effectuer sur ces données simulées les analyses statistiques descriptives que l'on a coutume d'employer sur les données réelles (régression, caractérisations des propriétés distributionnelles des grandeurs-clés). La pertinence du modèle est mesurée à l'aune de sa capacité à reproduire les observations faites sur le réel. La figure 3 montre les pentes rang-taille calculées à différentes itérations dans le système.

Figure 3. Evolution de la loi rang-taille au cours d'une simulation



2.2 Cohérence interne et explorations multiples du modèle

Cependant, très souvent, les phénomènes observés sont susceptibles d'être causés par des mécanismes très différents, c'est le cas en particulier des hiérarchies urbaines. Une autre phase consiste donc à tenter de vérifier la cohérence interne du modèle, c'est-à-dire à s'assurer que le modèle est cohérent aux différentes échelles spatiales, mais aussi dans ses différentes dimensions. La notion d'échelle est essentielle en SMA : la multiplicité des interactions au sein du système (simulé ou réel) est source de non linéarité dans les phénomènes observés, c'est-à-dire que des interactions à un niveau inférieur émergent des phénomènes inattendus (c'est-à-dire non directement déductibles) à un niveau supérieur. Il est ainsi possible que des règles inexactes produisent au niveau supérieur un résultat satisfaisant. Dans le cas d'EUROSIM nous allons donc étudier le comportement du modèle à différentes échelles géographiques (villes, réseaux de villes, pays, régions...), mais aussi dans sa dimension économique (bilan des échanges commerciaux), afin de s'assurer que la hiérarchie observée est bien le résultat de règles cohérentes (figure 4).

Cette phase est naturellement plus délicate que la première, car il n'existe généralement que peu (ou pas) de données réelles pouvant servir d'étalons de comparaison. Elle suppose également de procéder à un très grand nombre de simulations, dans le cadre d'une exploration de la sensibilité du modèle à différentes valeurs des paramètres d'entrée. En termes combinatoires, une exploration précise et exhaustive du modèle peut nécessiter, théoriquement, plusieurs milliards de simulations. Cette contrainte technique, mais aussi cognitive, suggère donc d'appliquer un principe de parcimonie dans la définition des objets.

Figure 4. Une analyse multi-échelle et multi-dimensionnelle

Level Characteristics	Macro Level - Europe	Meso Level 1 -Blocs	Meso Level 2 - countries	Local Level - cities
Population and wealth	- aggregate trajectories of evolution - Analysis of the urban hierarchy rank-size graphs and primacy indexes - Analysis of the urban concentration tables and graphs of the evolution of the top of the hierarchy			- Cities trajectories of evolution
Activity sectors (13)	- Repartition of the labour force according to the 13 specialized sectors - Decomposition of demand and supply according to: sold and unsold, satisfied and unsatisfied			- Maps of specialisations - Profile of the labour force repartition.
Analysis of the interaction networks	- Global statistics	- maps of transborder exchanges	- flow maps	- Size and structure of the networks

Conclusion

Les SMA constituent un outil très puissant de modélisation en sciences sociales, et tout particulièrement en géographie, confronté à des phénomènes complexes. Le modèle EUROSIM est à cet égard une application intéressante puisqu'il permet de simuler un système réel, à partir d'hypothèses bien moins restrictives que celles imposées par les outils mathématiques (équation différentielles, synergétique,..). En revanche, leur grande souplesse peut conduire au développement de modèles dont la complexité peut finir par poser problème. Il est important de ne pas perdre de vue que les modèles sont des constructions visant à schématiser la réalité, simplification nécessaire qui fonde leur utilité.

Bibliographie indicative :

Amblard F, D.Phan (dir.) (2006) *Modélisation et simulation multi-agents : Applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*, Lavoisier, Paris

Sanders L (dir.) (2001) *Modèles en analyse spatiale*, Lavoisier, Paris

Sanders L (coord.), J-M Favaro, B.Glisse, H.Mathian, D.Pumain (2006) *Dynamics of the European urban network*, Final Rapport WP4 TiGrESS/EVG3-2001-00024 (<http://www.tigress.ac>)

EVALUATION SPATIO-TEMPORELLE DES ENJEUX HUMAINS DANS LE CADRE D'UNE ANALYSE DE VULNERABILITE AUX RISQUES TECHNOLOGIQUES

Camille Grivault

Laboratoire THEMA Dijon, UMR 60-49
camille.grivault@u-bourgogne.fr

1. Contexte de la recherche

L'explosion de l'usine AZF en 2001 a relancé les débats sur la proximité entre espaces urbains et espaces industriels et a contribué au renouvellement des réflexions sur la manière de gérer ces configurations territoriales génératrices de risques. Le débat national sur les risques industriels [1], concrétisé par la loi de juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs et à l'indemnisation des victimes, a abouti à la création des Plans de Prévention des Risques Technologiques majeurs (PPRT) visant à rendre plus efficace la maîtrise de l'urbanisation à proximité des sites industriels Seveso 2. Ces PPRT devront, à partir d'une cartographie des aléas, évaluer la vulnérabilité des enjeux présents dans la zone afin de délimiter des zones particulières de maîtrise de l'urbanisation en fonction des dangers pour la population.

Parallèlement, ce débat a contribué à relancer les réflexions sur les risques liés aux transports de matières dangereuses (TMD). Un rapport portant sur l'inscription de la gestion des risques liés aux TMD dans les pratiques des acteurs de l'aménagement et de la gestion des territoires [2] a montré la nécessité d'une meilleure connaissance des flux de TMD, mais aussi la nécessité d'intégrer l'environnement des TMD dans la construction d'une politique territorialisée de gestion des risques.

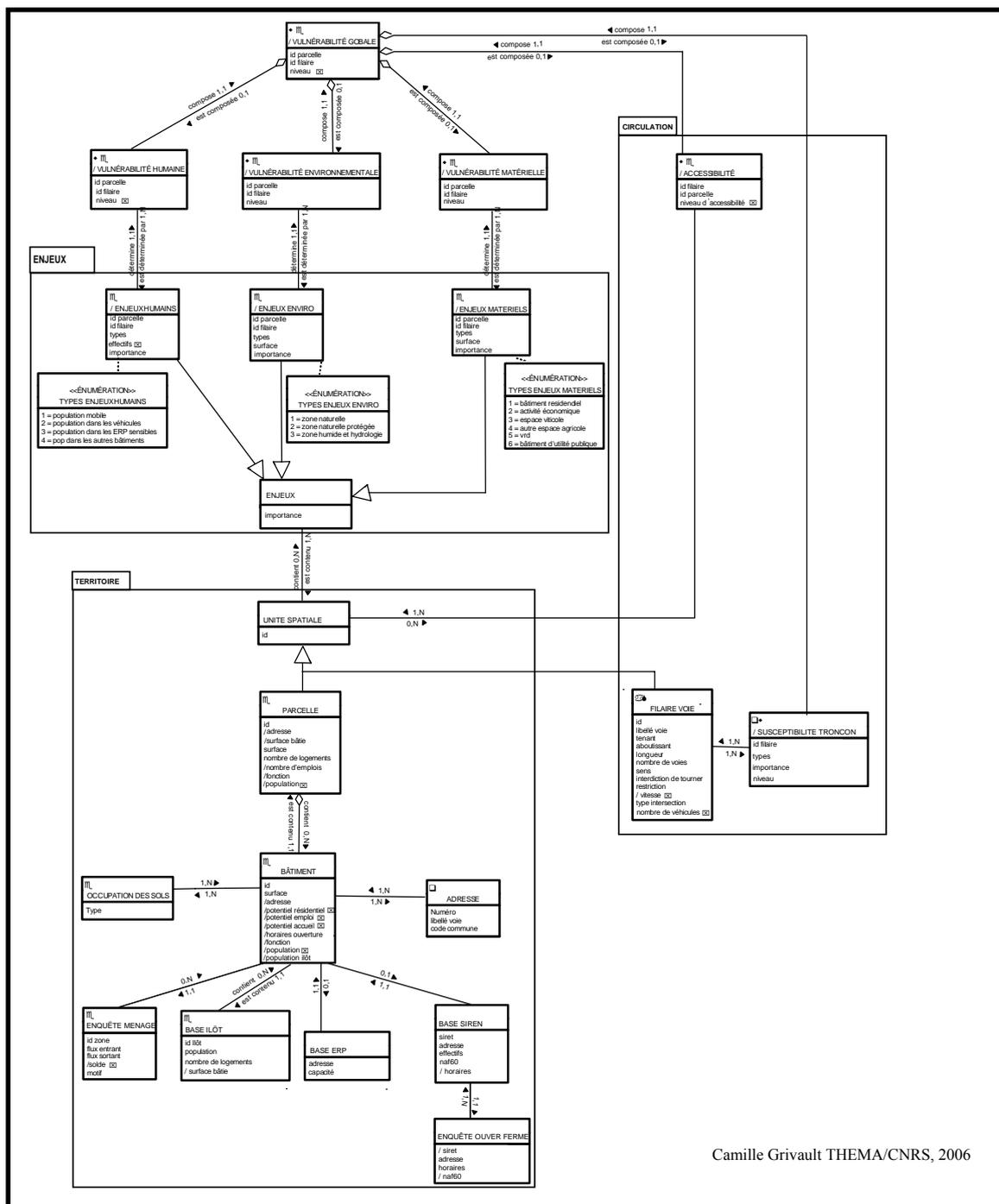
C'est dans cette perspective que nos efforts se dirigent vers la conception d'un système d'information géographique permettant d'intégrer l'ensemble des informations nécessaires à l'évaluation des risques sur le territoire d'une agglomération. Cet outil aura pour objectif, d'une part, de spatialiser les aléas industriels et TMD présents sur le territoire et, d'autre part, de proposer une évaluation de la vulnérabilité des territoires à proximité d'un site industriel et d'un axe routier emprunté par les TMD. Plus précisément, l'un des objectifs de cette recherche, sur lequel se focalise cet article, est d'apporter une évaluation précise des enjeux humains à la fois dans l'espace (échelle parcellaire) et dans le temps (aux différentes heures d'une journée type) afin de l'intégrer dans un indicateur de vulnérabilité dynamique.

2. Mise en place de la base de données spatio-temporelle

Les données utilisées doivent permettre une évaluation fine des enjeux humains sur le territoire de l'agglomération dijonnaise. Dans cet objectif, trois types de données ont été collectés :

- ▶ une information cartographique à grande échelle constituée de la base îlot de l'INSEE, de la couche « bâti » récupérée auprès des services de la Communauté d'agglomération du Grand Dijon, du cadastre et des adresses postales obtenus auprès du même organisme.
- ▶ une information attributaire sur les populations et les activités : le fichier cadastral de la Direction Générale des Impôts (DGI), le recensement de la population de 1999 au niveau des îlots et le fichier SIREN pour les activités.
- ▶ une information attributaire sur les mobilités : l'enquête ménage de 1998 et une enquête sur les horaires d'ouverture et de fermeture des activités dans l'agglomération en 2004.

Ces données hétérogènes ont ensuite été structurées dans un modèle conceptuel de données (MCD). Un MCD a pour objectif de représenter la réalité étudiée en proposant une description précise des objets que l'on souhaite retenir, de leurs caractéristiques et de leurs relations. Il s'agit ici d'intégrer des informations relatives aux conditions de circulation, aux mobilités des personnes, au territoire et à ses fonctions, aux enjeux vulnérables, afin de produire un indicateur synthétique de vulnérabilité pouvant servir de support à la gestion des risques.



Camille Grivaut THEMA/CNRS, 2006

Figure 4 : le modèle conceptuel de données « vulnérabilité ».

Ce travail a été effectué sous le logiciel Perceptory permettant de produire des modélisations visuelles de base de données spatiale et de base de données spatio-temporelle. Ce logiciel a été conçu pour intégrer le concept de PVL spatial et PVL spatio-temporel aux composantes du modèle de classes du formalisme UML [3].

Le modèle (fig. 1) a été divisé en trois sous-ensembles :

- le sous-ensemble *enjeux* décrivant les éléments humains, environnementaux et matériels susceptibles d'être impactés par un aléa ;
- le sous-ensemble *circulation* rassemblant des informations sur le réseau routier, les conditions d'accessibilité et les dispositions du réseau à générer des accidents de transports de matières dangereuses (accidentologie, trafic, caractéristiques de la voirie) ;

- le sous-ensemble *territoire* rassemblant des informations concernant le territoire dans ses composantes matérielle (parcelles, bâtiments, adresses) et fonctionnelle (activités, population et déplacements).
D'un point de vue spatial, les parcelles et les tronçons de route constituent les unités spatiales élémentaires du modèle à l'intérieur desquelles seront restituées les indicateurs construits.
C'est plus spécifiquement sur la méthode d'intégration des données dans le sous-ensemble *territoire* du modèle que porte les développements qui vont suivre.

3. Méthode d'évaluation des enjeux humains

L'évaluation des enjeux humains s'inspirant d'une méthode mise au point par A. Banos et T. Thévenin dans le cadre de travaux sur les mobilités urbaines [4] a été effectuée en cinq étapes : - la détermination des fonctions des parcelles et des bâtiments,

- la détermination du potentiel d'attraction et d'émission des bâtiments décrivant la capacité des bâtiments à attirer ou à émettre des déplacements de population,
- la détermination des horaires d'ouverture et de fermeture des bâtiments,
- le traitement de l'enquête ménage sur les déplacements des individus afin d'obtenir des matrices de soldes de déplacements,
- la ventilation des matrices de soldes dans les bâtiments.

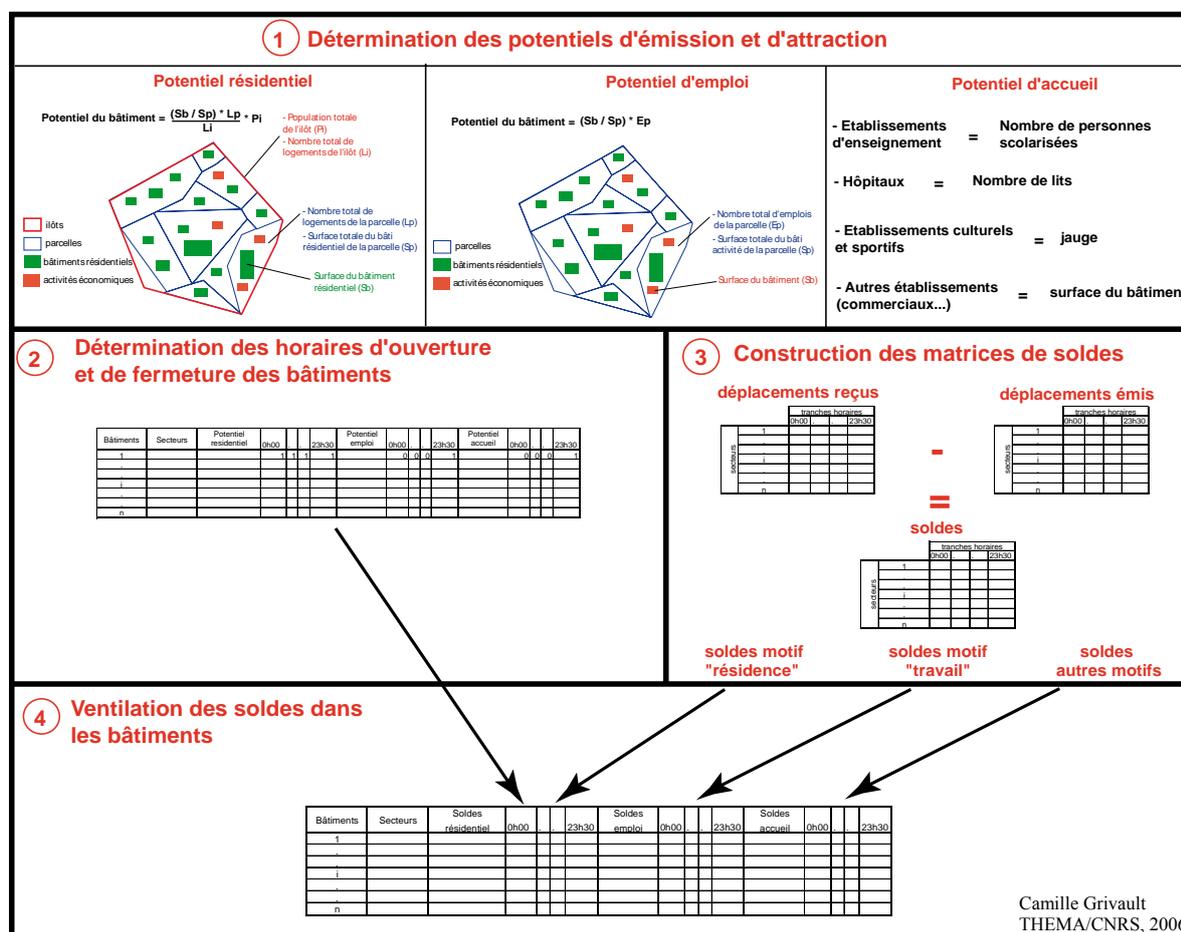


Figure 5 : Les différentes étapes de la méthode d'évaluation des enjeux humains.

► La détermination des fonctions des parcelles et des bâtiments a été réalisée à l'aide du fichier de la Direction Générale des Impôts couplé à d'autres sources d'information concernant les bâtiments publics (fichiers du rectorat sur les établissements scolaires...). Ces données ont été stockées dans la couche parcellaire pour ensuite être ventilées dans les bâtiments. Le résultat de ce travail a permis de réaliser une cartographie des fonctions de laquelle découlent les autres étapes de la démarche présentée ci-dessus (fig. 2).

- La détermination des potentiels d'émission et de réception des bâtiments s'est faite sur la base de données socio-économiques issues du recensement de la population de 1999, du fichier SIREN sur les entreprises et d'autres fichiers spécifiques aux établissements scolaires, aux hôpitaux et aux équipements culturels et sportifs. Trois types de potentiels ont été déterminés pour chaque bâtiment : un potentiel résidentiel, un potentiel d'emploi et un potentiel d'accueil. Ces potentiels permettront par la suite de répartir les déplacements dans les bâtiments.
- Les horaires d'ouverture et de fermeture des activités économiques de l'agglomération ont été obtenus par l'intermédiaire d'une enquête réalisée sur un échantillon de 500 activités. La tranche horaire la plus fréquente a été retenue et attribuée aux autres activités du même type selon la nomenclature NAF 60. Pour les bâtiments publics, un échantillon a été constitué et élargi aux autres bâtiments du même type selon le même procédé. Enfin, les horaires des établissements scolaires sont connus de manière exhaustive grâce au fichier du rectorat. Pour chaque bâtiment, les horaires sont codés dans des tranches horaires d'une demi-heure de manière binaire (0 : ouvert ; 1 : fermé) pour chaque potentiel.
- Le traitement de l'enquête ménage porte sur les 1400 individus enquêtés le mardi et le jeudi pour obtenir les déplacements sur une « journée type » après redressement environ 700 000 déplacements sont comptabilisés. Pour les motifs domicile, travail, étude, sport et culture, démarches administratives et santé de l'enquête ménage des matrices sont construites afin d'obtenir pour chaque motif et pour chaque secteur du découpage de l'enquête ménage une matrice de soldes correspondant à la différence entre les déplacements émis et reçus.
- Enfin, la ventilation des matrices de soldes dans les bâtiments a été effectuée proportionnellement aux potentiels des bâtiments ouverts dans chaque tranche horaire et pour chaque secteur de l'enquête ménage.

4. Premiers résultats et intérêt de l'information constituée

Le premier résultat obtenu au terme de ces traitements consiste en une cartographie des densités de population à l'échelle des parcelles de l'agglomération dijonnaise (fig. 3).

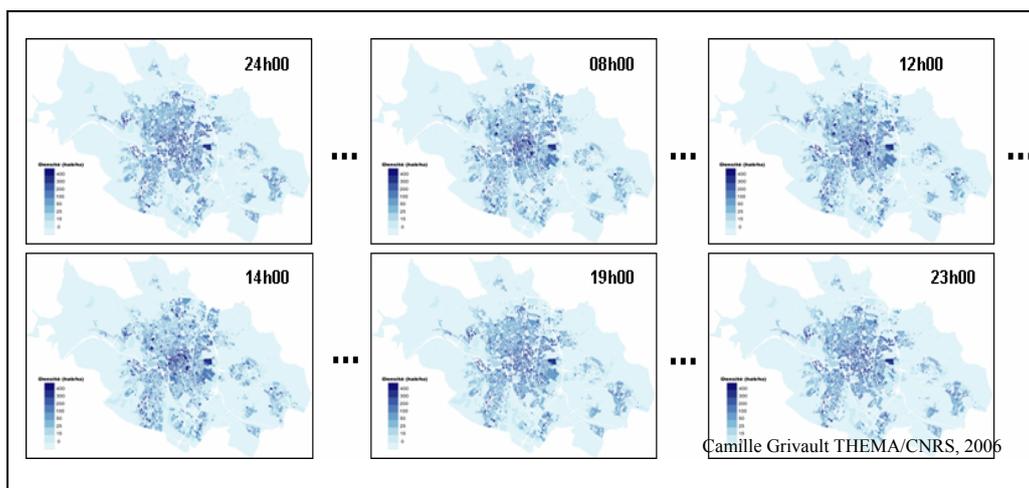


Figure 6 : Cartographie animée des densités de population dans l'agglomération dijonnaise.

Cette cartographie propose une vision dynamique de la répartition de population qui rend compte des déplacements de populations au cours d'une journée type.

Par une simple requête, la base de données constituée permet d'évaluer, sur l'ensemble du territoire de l'agglomération, et à une heure donnée de la journée, le nombre de personnes présentes dans une zone d'aléa préalablement définie. Cette information peut trouver une application intéressante en matière de planification des moyens de secours

5. Conclusion et perspectives

La méthode a permis de constituer une information relativement précise sur la répartition des populations dans l'espace et dans le temps. Néanmoins certaines améliorations peuvent être apportées à la base de données. Le calcul des potentiels peut être affiné par une information sur le nombre d'étages des bâtiments qui permettrait de considérer la surface de plancher plutôt que l'emprise au sol des bâtiments. Par ailleurs, l'échantillon issu de

l'enquête sur les horaires d'ouverture des services et commerces devra être complétée par des informations concernant les activités industrielles afin d'être plus exhaustif.

La production d'une information sur la répartition des enjeux humains ne constitue cependant qu'une partie d'une recherche plus large sur le risque technologique en milieu urbain. L'intégration de l'aléa TMD dans le système d'information et la production d'un indicateur synthétique intégrant les différentes dimensions de la vulnérabilité viendront compléter l'outil et donner tout son sens à l'information constituée sur les enjeux humains.

Intégrer l'environnement des TMD dans les politiques de gestion des risques implique une bonne connaissance des itinéraires empruntés par les matières dangereuses, des quantités transportées et de la nature des produits circulant sur le réseau. C'est pourquoi, un questionnaire sur l'origine et la destination des matières dangereuses sera envoyé aux entreprises de l'agglomération dijonnaise manipulant de telles substances afin d'obtenir une cartographie des flux de TMD sur le réseau routier de l'agglomération. La modélisation des conséquences de différents scénarios d'accident permettra une spatialisation des zones d'aléa qui serviront de base à l'évaluation de la vulnérabilité autour des axes routiers.

Par ailleurs, l'évaluation de la vulnérabilité ne peut pas se contenter d'une évaluation des enjeux humains présents dans une zone d'aléa. Il faut aussi tenir compte des autres éléments vulnérables et notamment des enjeux matériels et environnementaux en présence. C'est pourquoi, sur la base des travaux réalisés par l'Ecole des Mines d'Alès sur la vulnérabilité aux aléas technologiques [4] [5], il est prévu de coupler l'information spatiale fine issues du système d'information géographique avec une méthode d'analyse multicritère permettant de hiérarchiser les différents enjeux en fonction de leur niveau de vulnérabilité pour obtenir un indicateur synthétique. Cet indicateur permettra notamment de simuler des itinéraires alternatifs permettant de minimiser la vulnérabilité sur les trajets parcourus par les TMD.

Bibliographie

- [1] Essig P., *Débat national sur les Risques Industriels Novembre Décembre 2001– Rapport à Monsieur le Premier Ministre*, Janvier 2002.
- [2] Blancher, P., *L'inscription de la gestion des risques liés aux transports de matières dangereuses dans les pratiques des acteurs de l'aménagement et de la gestion des territoires : ressources et réseaux de compétence et d'expérimentation*, Economie et Humanisme, avril 2003.
- [3] Bédard, Y., 1999, *Principles of Spatial Database Analysis and Design*, GIS: Principles, Techniques, Applications & Management, Wiley, Vol. 2nd Ed., No. Chap. 29, p. 413-424.
- [4] A. Banos, T. Thévenin, *Révéler les rythmes urbains quotidiens par la carte animée*, Revue Internationale de Géomatique, n° 15/1, 2005.
- [5] Griot, Sauvegnargues-Lesage, Dusserre, Pearson, Picheral, *Vulnérabilité face au risques liés au transport de matières dangereuses : apports de deux méthodes multicritères d'aide à la décision*, Déchets – Revue francophone d'écologie industrielle, n°27, 3ème trimestre 2002
- [6] Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Bubbico, R., Mazzarotta, B., Silvetti, B., Hubert, E., Rodrigues, N., Salvi, O., *Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project*, Journal of Hazardous Materials, 2005.

METHODE DE SPATIALISATION DE L'ALEA RUISELLEMENT PLUVIAL URBAIN : UNE APPLICATION SUR LE TERRITOIRE DE L'AGGLOMERATION DIJONNAISE

Aleksandra Barczak

Laboratoire THÉMA Dijon, UMR 6049
aleksandra.barczak@u-bourgogne.fr

I. Introduction

La ville contemporaine est celle où s'accumulent les risques majeurs naturels et technologiques [4]. Parmi eux, notre attention se dirige vers un risque à forte composante anthropique, celui du ruissellement pluvial en milieu urbain. Les grandes surfaces imperméables rencontrées dans les villes ont une importance incontestable pour la formation de ce phénomène [9]. En effet, l'étalement et la densification des tissus urbains amplifient l'aléa en contribuant à l'artificialisation des surfaces et du proche sous-sol qui rend les événements pluvieux redoutables. Les catastrophes survenues en France pendant les dernières décennies (Nîmes en 1988, Vaison-la-Romaine en 1992...), constituent autant de preuves des problèmes posés par l'imperméabilisation des espaces urbains et l'inadaptation des systèmes d'assainissement pour affronter les fortes pluies. En même temps, la pression exercée par l'urbanisation contribue à accroître les vulnérabilités des territoires et des populations qui les occupent.

Pour répondre aux défis de la prévention des inondations urbaines et de la gestion de crise, toute démarche repose sur une évaluation des composantes du risque. D'une part, elle consiste à une analyse de la vulnérabilité et des conséquences potentielles qu'une inondation pourrait provoquer [2] [3]. D'autre part l'évaluation du risque repose sur le diagnostic et la spatialisation de l'aléa. Le projet de thèse dans le cadre duquel s'inscrit cette intervention vise à apporter un outil d'aide à la décision pour la prévention des risques hydrologiques en milieu urbain et pour la planification des secours. La méthodologie proposée cherche à confronter les informations concernant les vulnérabilités avec un modèle du fonctionnement hydrologique de la ville. La démarche en quatre étapes comporte d'abord une phase de collecte de données, ensuite une phase de spatialisation de l'aléa, suivie d'une phase d'intégration de la vulnérabilité à travers la construction d'indices de vulnérabilité spatialisés. Enfin la dernière phase consiste à déterminer l'exposition des personnes au risque, à cartographier le risque sur le territoire de l'agglomération étudiée, ainsi qu'à comparer plusieurs scénarii d'événements pluvieux et de déroulement de la crise. Cette intervention présentera une des étapes de la démarche, accompagnée de premiers résultats concernant l'évaluation et la spatialisation de l'aléa.

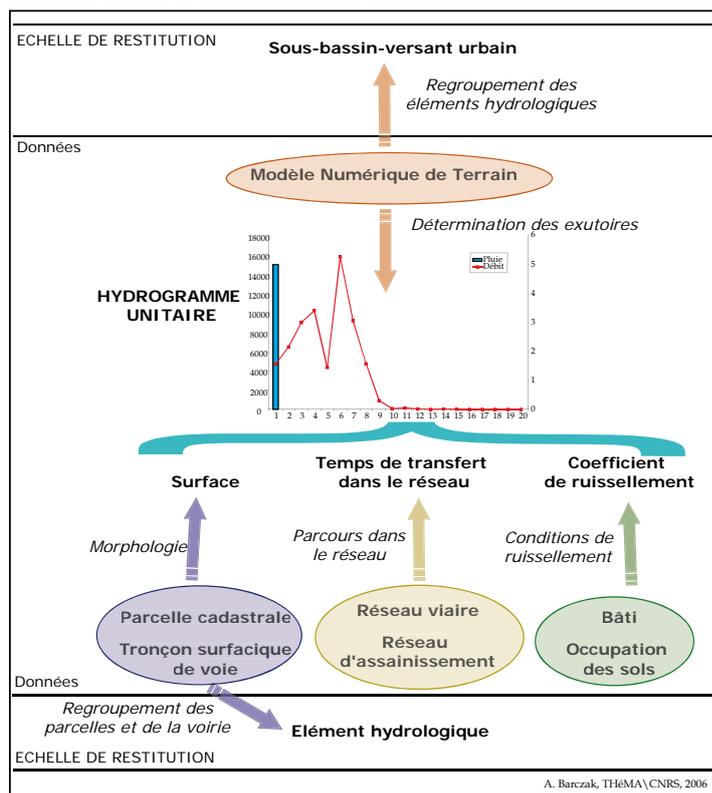
II. Modélisation de ruissellement pluvial urbain : données et méthode

Le ruissellement urbain peut être défini comme la réponse hydrologique de la ville (des bassins versant urbains) à une averse. Cette réponse correspond à une interaction entre les différents facteurs jouant autant au niveau du versant qu'au niveau du réseau. Pour spatialiser l'aléa ruissellement nous avons eu recours à un modèle hydrologique distribué. Ce type de modèle permet de prendre en compte les conditions locales qui sont à l'origine des phénomènes et de connaître ces phénomènes à une échelle spatiale fine. Nous nous sommes appuyé sur la méthode de « l'Hydrogramme Unitaire Géomorphologique et Instantané » introduit en hydrologie dans les années 70 [8]. Ce concept incorpore l'idée que les gouttes d'eau tombées à différents endroits du bassin au même moment ne parviendront pas à l'exutoire en même temps à cause des différences de longueur du parcours vers cet exutoire. En amont de cette modélisation se trouve donc l'information sur le temps de parcours, le coefficient de ruissellement et la surface qui permettent de déduire le débit à l'exutoire des sous-bassins urbains. Le but principal de cette étape est d'obtenir une description du milieu, dans son aspect physique et géométrique qui permettra de reconstituer un modèle hydrologique adapté aux contraintes de la ville.

Les données utilisées proviennent surtout des banques de données urbaines dont la pertinence pour les buts de l'hydrologie urbaine est reconnue [6]. Les informations synthétiques sur la nature du territoire et les conditions d'écoulement sont principalement déduites du découpage cadastral, de la couche bâti et des couches décrivant le réseau viaire. Ces données permettent de décrire la morphologie de la ville afin de rendre compte de son rôle dans la structuration des écoulements. Elles permettent aussi de prendre en compte des surfaces

imperméables – principales génératrices de ruissellement. Nous avons également utilisé des données supplémentaires concernant l'occupation des sols et le relief qui conditionnent fortement la formation des écoulements de surface. Nous nous sommes appuyés sur l'orthophotoplan pour vérifier et compléter certaines informations (occupation des sols, revêtement des routes, etc.). L'ensemble de ces données hétérogènes a été rassemblé dans un système d'information géographique et a servi à l'identification des hydrogrammes unitaires (notés HU par la suite) (Fig.1).

Figure 1. Utilisation des données spatiales pour l'identification des Hydrogrammes Unitaires des bassins versants urbains.



A partir de ces données et suivant la méthode proposée par Rodriguez et al. (2002), afin d'aboutir à une modélisation hydrologique aisée, nous avons découpé la ville en éléments unitaires. On considère que toute la pluie qui tombe sur le territoire est interceptée par ces éléments, qui possèdent chacun des caractéristiques géométriques et physiques déterminant les conditions de la transformation de la pluie en ruissellement. Ces unités étant nommées Eléments Hydrologiques (notés EH par la suite). Les EH sont regroupés dans 22 sous-bassins de drainage, déterminés à partir du Modèle Numérique de Terrain et dans lesquels toute l'eau tombée en surface s'écoule vers un exutoire. Ensuite nous avons cherché à identifier les caractéristiques des EH, essentielles du point de vue du fonctionnement hydrologique, à savoir : leur surface, le coefficient de ruissellement et le temps de parcours dans le réseau depuis un EH vers l'exutoire du bassin versant. La

surface d'un EH correspond au regroupement de la parcelle cadastrale et du tronçon de route adjacent. Nous avons déterminé les coefficients de ruissellement en calculant le coefficient d'imperméabilisation qui est un rapport entre la surface imperméable (le bâti, la voirie) et la surface totale des EH. Pour les parcelles non bâties nous les avons déduits de l'occupation des sols [10]. Ensuite, nous avons cherché à construire un graphe de cheminement de l'eau dans le réseau urbain, sur lequel nous nous sommes appuyés pour calculer le temps de parcours dans le réseau. Pour décrire le cheminement de l'eau dans le réseau urbain nous avons été amenés à faire plusieurs simplifications. Le manque de données concernant le réseau d'assainissement nous a conduit à déterminer le cheminement d'eau uniquement à partir du réseau viaire représenté par l'ensemble des segments des rues de l'agglomération. Nous avons supposé que toute l'eau qui tombe sur les EH, rejoint le réseau pluvial (représenté par les tronçons de routes) à la sortie de la parcelle pour s'écouler vers l'exutoire du sous-bassin de drainage où elle se jette finalement dans le milieu récepteur. Nous avons utilisé la calcul d'accessibilité pour déterminer le chemin le plus court entre le point où le ruissellement commence au sein d'un EH jusqu'à son exutoire déterminé antérieurement à partir du MNT. Après avoir déterminé le cheminement de l'eau, il nous était possible de calculer le temps de parcours dans le réseau en fonction de la longueur du cheminement et de la vitesse de l'eau. Toute cette information a été réunie pour construire les hydrogrammes unitaires pour les bassins de drainage. Un HU exprime une réponse hydrologique impulsionnelle à une averse et il correspond au débit à l'exutoire issu d'une pluie uniforme et unitaire [1] [5] [7]. La démarche hydrologique exige une validation du modèle appliqué. Jusqu'à aujourd'hui cette étape n'a pas pu être entreprise, puisque les travaux se sont concentrés sur la construction de la base de données appropriée pour une étude hydrologique plutôt que sur la modélisation hydrologique en soi. Le calcul de l'hydrogramme unitaire sert donc à la mise en évidence de

l'utilité d'un système d'information géographique pour l'hydrologie urbaine et ne devrait pas être traité comme une estimation pertinente du débit avant d'être validé.

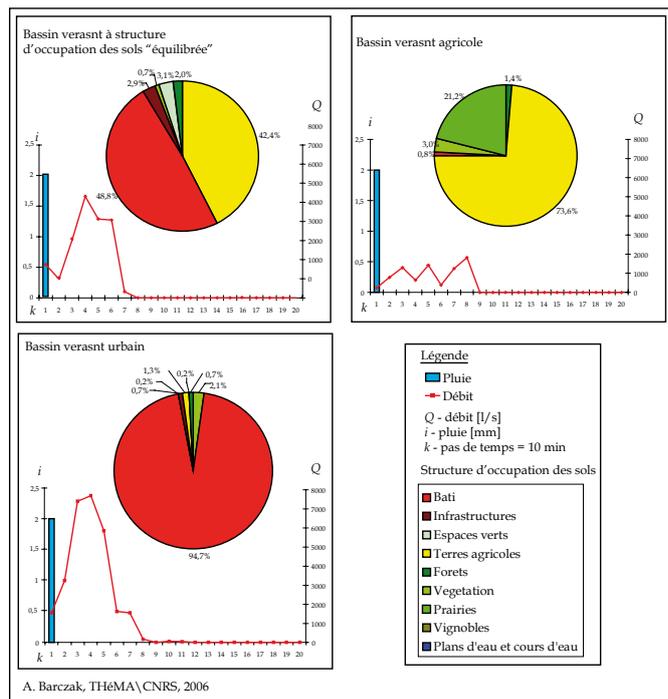
III. Premiers résultats : application sur le territoire de l'agglomération dijonnaise

Le territoire d'application de notre méthode : l'agglomération dijonnaise, est relativement vulnérable face aux risques liés à l'eau à cause de la conjonction de conditions naturelles (les plateaux calcaires avoisinant une plaine peu perméable qui favorise les écoulements surfaciques) et de l'artificialisation des sols. En effet, 12 parmi les 21 communes de l'agglomération sont classées « inondables par ruissellement ou par l'insuffisance du réseau » dans le Dossier départemental des risques majeurs (DDRM), une commune dispose d'un Plan de Prévention des Risques inondation.

Pour étudier la réponse hydrologique et identifier les hydrogrammes unitaires, nous avons choisi les sous-bassins de drainage situés dans l'agglomération dijonnaise différents du point de vue de l'occupation des sols et des caractéristiques géométriques qui conditionnent le ruissellement. Les résultats obtenus expriment l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique du territoire. Nous observons que les bassins à caractère urbain se distinguent par des débits élevés, par un court temps de montée, et par une pointe de crue très prononcée. D'autres facteurs tels que la taille du bassin, la morphologie et la structure du réseau influencent aussi fortement la réponse hydrologique. Par exemple, une réponse hydrologique modérée peut se traduire par la structure d'occupation des sols, par la forme allongée du bassin ou par sa petite taille induisant un apport faible d'eau à l'exutoire (Fig. 2). Tout en ayant à l'esprit les problèmes de validation de notre modèle, la comparaison des HU identifiés permet de conclure que l'urbanisation affecte largement la réponse hydrologique.

Grâce à l'intégration de la modélisation hydrologique au sein d'un SIG, l'identification des hydrogrammes unitaires à l'échelle des bassins versants pouvait être accompagnée de la cartographie du potentiel du ruissellement (Fig 3). Nous sommes parvenus à une représentation synthétique par le croisement des deux caractéristiques hydrologiques essentielles pour décrire le ruissellement : le coefficient de ruissellement et le temps de parcours dans le réseau hydrologique urbain. La carte obtenue indique les zones caractérisées par une réponse rapide à une averse et par un grand apport d'eau ruisselant. Ces zones comprennent le secteur fortement urbanisé du centre ville – un grand générateur de ruissellement, mais également les secteurs périphériques correspondant le plus souvent aux terres agricoles et aux parties avales des sous-bassins de drainage caractérisées par des courts temps du parcours dans le réseau.

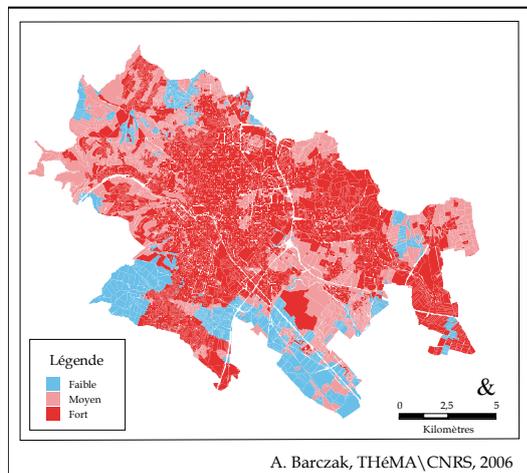
Figure 2. Exemples de réponse hydrologique des bassins versant dijonnais



Notre but était tout d'abord de caractériser finement le territoire de manière pertinente pour les besoins de l'hydrologie urbaine. L'alliance de la modélisation basée sur l'identification des Hydrogrammes Unitaires avec un Système d'Information Géographique a montré l'intérêt de l'approche spatiale pour l'hydrologie. En même temps l'analyse des premiers résultats et des difficultés rencontrées au cours de la mise en place de la méthode nous amènent à élargir le spectre de données utilisées et à améliorer leur qualité. Lors de la première application du modèle sur le territoire dijonnais nous nous sommes rendus compte de l'importance de la qualité des données à l'entrée du modèle et nous étions confrontés à de nombreuses sources d'incertitude. Cette incertitude est tout d'abord liée à la qualité du MNT dont la résolution, à savoir 50 m est insuffisante pour notre modélisation. Cette

insuffisance s'est exprimée au niveau de la pertinence de la délimitation des bassins versant urbain et la localisation des exutoires. Ces deux paramètres ont fortement influencé le calcul de temps de parcours dans le réseau.

Figure 3. Cartographie du potentiel de ruissellement.



Le réseau urbain hydrologique lui-même était l'objet d'une grande simplification. Il était représenté uniquement par le réseau viaire. Une incertitude est aussi associée à notre coefficient de ruissellement qui pour les zones non bâti a été estimé uniquement à partir de l'occupation de sols sans prendre en compte la nature et l'état des sols. Cette insuffisance de l'information sur la formation du ruissellement rend le résultat de la modélisation incertain autant au niveau du débit estimé qu'au niveau de la forme de l'hydrogramme.

Pour ces raisons nous avons décidé de chercher à alimenter notre base de données dédiée à la description de l'aléa. Dans un premier temps nous envisageons d'améliorer la qualité du MNT en ajoutant des informations à partir de la BD TOPO. L'amélioration de l'information sur le relief sera

suivie par l'intégration de l'information sur les pentes qui nous permettra d'estimer la vitesse de l'eau dans le réseau et par cela d'affiner l'information sur le temps de parcours dans le réseau. Dans un deuxième temps, nous comptons inclure l'information sur la nature des sols à partir des cartes pédologiques de l'INRA. Cette information nous permettra d'estimer plus précisément les coefficients de ruissellement dans les espaces non bâtis ce qui contribuera à l'amélioration de l'information sur la quantité d'eau qui va ensuite ruisseler dans le réseau. L'information sur le réseau hydrologique urbain exige elle aussi d'être affinée et complétée. L'intégration des données concernant le réseau d'assainissement (son tracé, le type de réseau (unitaire, séparatif), les points d'entrée dans le réseau), permettra de représenter les écoulements en trois dimensions (ruissellement surfacique sur les EH, ruissellement concentré sur les routes, écoulement dans le réseau pluvial). Enfin, il est envisagé de se procurer des données hydro-météorologiques concernant la pluviométrie et les débits à la sortie du réseau d'assainissement afin de pouvoir simuler des événements réels et de valider le modèle par comparaison des débits simulés avec les débits réels. Pendant les premiers tests de la méthode sur le territoire dijonnais nous avons rencontré des problèmes spécifiques liés à incompatibilité des limites administratives et des limites des unités physiques. Nous sommes donc amenés à prendre en compte l'intégralité des sous-bassins versant. Pour écarter les sources d'erreurs et pour contourner les problèmes d'insuffisance de données en dehors de la limite de l'agglomération nous proposons de prendre en compte l'intégralité des sous-bassins versants et de modifier les traitements concernant les espaces hors de l'agglomération. Il sera nécessaire de construire une grille pour reconstituer la continuité avec le parcellaire dont on dispose pour l'agglomération, et de modifier le calcul de parcours dans le réseau hydrologique en procédant au même calcul en fonction de la pente. Pour le calcul du coefficient de ruissellement, il faudra intégrer l'information sur l'occupation des sols à partir d'une image satellite.

L'alimentation de la base de données concernant l'aléa nous permettra de décrire finement le territoire, de modéliser le réseau hydrologique urbain en 3D et de simuler les événements pluvieux réels. Ces trois apports nous permettront d'améliorer la qualité de la modélisation hydrologique, ce qui se traduira par une délimitation de bassins versant plus pertinente, une estimation des débits plus fiable et une validation du modèle hydrologique.

IV. Conclusion

Cette étape destinée à la spatialisation et à la quantification de ruissellement pluvial urbain s'inscrit dans une optique d'utilisation des outils de la géomatique pour les besoins de l'hydrologie urbaine. Cette alliance permet d'incorporer, dès la phase de conception des modèles, la dimension spatiale des phénomènes hydrologiques

et leur variabilité dans l'espace. La connaissance fine du contexte local est nécessaire pour la compréhension du fonctionnement hydrologique de la ville et elle permet d'améliorer la modélisation. Dans cet esprit, nous avons essayé de tester l'impact de l'artificialisation des sols sur le processus de ruissellement pluvial.

La phase de collecte des données a permis la construction d'un système d'information géographique adapté aux besoins de l'hydrologie urbaine. Ensuite, cette information a servi à établir un modèle de transformation de la pluie en débit. Au-delà des traitements des données et de la modélisation hydrologique nous sommes parvenu à la cartographie du potentiel de ruissellement. La première application de la méthode a permis de détecter plusieurs sources d'incertitudes qui devront être traitées dans les prochains travaux pour améliorer les résultats. A la fin de cette étape de spatialisation du ruissellement nous devrions aboutir à une connaissance des débits à la sortie des bassins versant et à tout point du réseau. Cette connaissance pourrait être restituée à l'échelle de la parcelle et à l'échelle d'une unité de gestion (agglomération). La démarche empruntée nous permettra aussi de prendre en compte l'aspect dynamique du phénomène c'est-à-dire de connaître le déroulement de l'événement dans le temps.

Bibliographie

- [1] ARONICA G., CANNAROZZO M., « Studying the hydrological response of urban catchments using a semi-distributed linear non-linear model », *Journal of Hydrology* n° 238, 2000, pp. 35-43.
- [2] CHARDON A.-C., THOURET J.-C., « Cartographie de la vulnérabilité d'une population citadine aux risques naturels : le cas de Manizales », *Mappemonde*, vol. 4/1994, p. 37-40
- [3] D'ERCOLE R., « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de Géographie Alpine*, vol.4, 1994, p. 87-96.
- [4] DUBOIS-MAURY J., CHALINE C., *Les risques urbains*, Paris, Armand Colin, 2002.
- [5] KARVONEN T., KOIVUSALO H., JAUHINAINEN M., PALKO J., WEPPLING K. «A hydrological model for predicting runoff from different land use areas », *Journal of Hydrology* n° 217, 1999, pp. 253-265.
- [6] RODRIGUEZ F., ANDRIEU H., YERCHOFF J., CREUTIN J.D., « Intérêt des banques de données urbaines pour l'hydrologie », *Revue internationale de géomatique*, vol. 12, n° 1, 2002, pp. 93-114.
- [7] RODRIGUEZ F., ANDRIEU H., CREUTIN J. D., « Surface runoff in urban catchment: morphological identification of unit hydrographs from urban databanks », *Journal of Hydrology* n° 283, 2003, pp. 146-168.
- [8] Rodríguez-Intube I., Valdés J. B., The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resources Research*, vol. 15, n° 6, 1979, pp. 1409-1420.
- [9] SCARWELL H.-J., LAGANIER R., *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2004.
- [10] United States Department of Agriculture (USDS), *Urban Hydrology of Small Watersheds*, Technical Release 55, 1986.

LE CANCER DU SEIN EN GRANDE-BRETAGNE ET EN FRANCE : EPIDEMIOLOGIE ET OFFRE DE SOINS DANS LE HAMPSHIRE ET EN HAUTE-NORMANDIE

Adeline Bourgeaux

Résumé

La question du cancer du sein apparaît aujourd'hui comme un problème majeur de santé publique dans les pays à mode de vie occidental, et l'un des points essentiels des politiques sanitaires actuelles.

Bien que les causes du cancer du sein ne soient pas réellement connues, certains facteurs de risque ont été identifiés comme pouvant influencer le développement de ce type de tumeur (domaine génétique, hormonal, environnemental et social).

Le but de notre recherche est de mettre en avant la dynamique entre épidémiologie du cancer du sein et l'offre de soins liées à ce type de pathologie d'un point de vue spatial.

Mots clés : Cancer du sein, épidémiologie, offre de soins, Haute-Normandie, Hampshire

Contexte de la recherche

Le cancer du sein est à l'heure actuelle un problème majeur mondial de santé publique. Avec un nombre sans cesse croissant de nouveaux cas chaque année, le cancer du sein est le cancer le plus fréquent chez la femme.

Les données sur l'incidence, la mortalité ou la survie des patientes atteintes d'un cancer du sein, diffèrent dans l'espace et dans le temps. La répartition de cette pathologie a ainsi créé un schéma spatial particulier. Cette prise en compte des variations spatiales du cancer du sein soulève des interrogations sur le pourquoi de ces différences. Les tendances vers lesquelles tendent aujourd'hui les sociétés, et en particulier les populations des pays développés, posent un problème de taille dans la lutte contre cette pandémie.

Nombres de scientifiques se sont ainsi penchés sur la question du cancer du sein. D'un point de vue étiologique, qui représente en fait l'étude des causes des maladies, il est important de connaître avec le plus de précision possible, quels peuvent être les facteurs de risque contribuant au développement de ce type de cancer chez la femme.

Certains facteurs ont été identifiés comme jouant un rôle important dans le risque pour les femmes de contracter un cancer du sein, touchant au domaine hormonale, environnemental ou encore génétique.

Les études sur le thème du cancer du sein, en France et en Angleterre, revêtent une valeur particulière si l'on considère les taux d'incidence et de mortalité extrêmement important dans ces deux pays et plus particulièrement dans les régions Haute-Normande et du Hampshire.

Le but de notre recherche est d'analyser les dynamiques des éléments, épidémiologiques et de l'offre de sanitaire, liés au cancer du sein d'un point de vue géographique, dans deux espaces à politiques sanitaires très différentes. En intégrant une dimension épidémiologique à la question de l'offre de soins nous pourrions mettre en avant les barrières géographiques existantes pour les femmes atteintes par cette pathologie. La distribution des équipements sur le territoire de nos deux régions est-elle efficace ? A-t-elle une influence sur le type de traitements reçus ? (chirurgie conservative / mastectomie / radiothérapie...). Existe-t-il des pratiques sanitaires régionales spécifiques ?

Une étude de l'épidémiologie spatiale des facteurs de risque des femmes atteintes, nous permettra ainsi, dans un premier temps, d'analyser l'influence de l'environnement (social et physique) dans le développement de ce type de cancer, en étudiant la présence ou l'absence d'auto-corrélation spatiale au sein de nos deux zones.

L'analyse de la spatialité de l'offre de soins du cancer du sein constituera le deuxième élément de notre présentation. Il sera alors question de prendre en compte la localisation des équipements de santé offrant des soins préventifs, de traitements et de suivis aux femmes atteintes par cette pathologie ; et ainsi intégrer des notions touchant à la distance et l'accessibilité entre patientes et structures de soins.

Type de données étudiées

Les données employées dans cette recherche sont de deux types (Tableau 1). Le premier groupe de données réunit les éléments liés à l'épidémiologie du cancer du sein : âge, antécédents familiaux et médicaux, vie reproductive, CSP, ethnie, style de vie, lieu d'habitation, type de cancer...

Les données concernant la localisation et les spécificités statistiques des structures de soins offrant des services en rapport avec le cancer du sein, forment notre deuxième catégorie de données. Celles-ci vont des services préventifs en amont (nombre de patientes testées, temps d'attente...), aux services de suivi post-cancer en aval (support psychologique...), en passant par ceux de diagnostic et de traitement.

Tableau 1. Type de données étudiées

EPIDEMIOLOGIE	OFFRE DE SOINS
Données socio-démographiques des patientes (style de vie, CSP, vie reproductive...)	Nombre de patientes testées
Données environnementales (proximité aux industries, irradiation...)	Diagnostic (cancer invasif, non invasif)
Données propres au cancer développé (type de cancer, stade du cancer...)	Traitement (chirurgie, reconstruction, chimiothérapie, radiothérapie)
	Service disponible sur le site (équipe multidisciplinaire, soins palliatifs, support psychologique...)

Exposé des hypothèses

A l'heure actuelle, un grand nombre de facteurs explicatifs ont été découverts dans le développement du cancer du sein chez la femme. Les données liées au style de vie des patientes sont particulièrement importantes. Il semblerait que les femmes étant en surpoids, faisant peu de sport, fumant ou consommant de l'alcool régulièrement seraient davantage sujettes à ce type de pathologie.

A partir de ces résultats nous pouvons supposer que nos populations anglaises et françaises suivent le même schéma. De même, les antécédents familiaux et médicaux, ainsi que les données liées à la vie reproductive tiennent une place prépondérante comme facteurs de risque. On peut donc supposer que les femmes touchées ont eu leur premier enfant tardivement, voir n'ont eu aucun enfant, et ont été ménopausée précocement.

Ces facteurs n'expliquent toutefois qu'un pourcentage relativement moyen. Beaucoup de facteurs de risque n'ont pas encore été découverts pour le moment. Nous supposons dans notre cas, que des données liées au domaine environnemental pourraient rentrer en ligne de compte.

Analyses spatiales réalisées ou en cours de réalisation et questionnements

Notre analyse du phénomène du cancer du sein s'applique à deux aspects différents qui nécessitent des traitements spécifiques : l'épidémiologie et l'offre de soins.

Les données épidémiologiques sont traitées de façon multiple et selon l'échelle de prise en compte. Dans un premier temps, nous analysons les données à l'échelle locale. Les « Output Area » et IRIS sont en fait des unités spatiales anglaises et françaises du territoire découpées très finement (quartier).

A l'aide des indices de Moran et Gerry, qui mesure le degré d'autocorrélation spatiale globale de notre variable, nous essayons d'analyser dans quelle mesure les facteurs de risque connus expliquent les cas de cancer du sein localisés sur nos deux territoires.

L'utilisation, dans une deuxième temps, de la méthode de fonction K permettant de prendre en compte la possible existence de « clusters » dans l'espace à différentes échelles (locale, individuelle) est employée. Cette méthode permet en effet d'analyser les tendances de répartition des cas de la maladie et mettre en avant les traits caractéristiques (regroupement, régularité...).

L'analyse que nous avons réalisée sur l'offre de soins s'est appuyée dans un premier temps sur l'identification et la localisation dans l'espace des différents types de soins proposés pour la détection, le diagnostic, le traitement et le suivi du cancer. L'utilisation de codes postaux anglais permet de géoréférencer les équipements et de les localiser aisément dans l'espace.

Nous avons donc mis en place une analyse de semis de point (équipements) en utilisant la méthode des quadrats ainsi que la méthode du plus proche voisin.

Cette première méthode permet une analyse comparative de différents territoires en observant le nombre de point répartis dans des sous-régions définies de façon régulière sur nos territoires. Dans notre cas, elle se présente sous la forme d'un maillage régulier composé de carrés de taille variable. Ce test permet de savoir si une distribution est aléatoire, concentrée ou dispersée. Les résultats obtenus par cette méthode sont ensuite comparés à ceux que l'on pourrait attendre d'une distribution aléatoire, c'est-à-dire de Poisson.

A l'inverse de la méthode des quadrats, la méthode du plus proche voisin n'implique pas l'utilisation d'un carroyage. La première étape de cette analyse est de calculer l'écart entre chaque structure et sa plus proche voisine, d'un point de vue géographique. Une fois les écarts calculés, nous déterminons selon une formule statistique, quelle aurait dû être la distance théorique moyenne au plus proche voisin, dans le cas où nous nous serions trouvés dans une situation de distribution aléatoire.

Ces méthodes nous permettent d'avoir une perspective synthétique du phénomène, et une mise en perspective du type de répartition globale.

Problèmes rencontrés

Les résultats de cette étude sont encore peu nombreux ou peu aboutis. En effet, la collecte de ce type de données (nominatives) est relativement délicate. L'obtention de celles-ci ne peut se faire qu'après signature d'une convention, et les délais de réception restent très longs.

L'utilisation de données anglaises rend la tâche plus ardue. La signature d'une nouvelle convention d'éthique est en effet nécessaire.

La prise en compte de données sanitaires provenant de pays différents requiert aussi un travail d'uniformisation. En effet, les données récoltées ne sont pas toujours comparables de prime abord. Il est alors parfois nécessaire de créer de nouvelles catégories de données.

Résultats obtenus ou attendus

Notre étude reste pour le moment au stade de la collecte et du traitement de données.

Certains tests ont déjà pu être réalisés sur des échantillons d'espace ou sur des types de données particulières. C'est ainsi que nous avons pu voir que la répartition des équipements offrant des soins pour les femmes atteintes du cancer du sein avaient globalement une tendance à la concentration dans l'espace.

Les résultats ne sont toutefois que temporaires, et un certain nombre de données restent à être collectées. Nos analyses se poursuivent et pourront nous donner des pistes de réflexion sur l'organisation sanitaire la mieux adaptée pour répondre à la demande des femmes atteintes par le cancer du sein. Celles-ci permettront peut-être aussi la mise en place d'une politique de prévention réellement adéquate, afin d'endiguer cette pandémie.

LES INEGALITES D'ACCESSIBILITE AUX ESPACES VERTS SONT-ELLES TOUJOURS PRESENTES DANS LA TRAME VERTE D'AGGLOMERATION PARISIENNE ? ALLER PLUS LOIN DANS CETTE DEMARCHE

Luc Barruel - LADYSS

Résumé : Les franciliens sont à la recherche d'une qualité de vie, celle-ci passe entre autre par la présence des espaces verts ouverts au public. En 1995, le Plan vert de la région Ile-de-France met en évidence l'existence des carences en espaces verts. Dix ans après, il est important de voir l'avancée de la politique des espaces verts dans la Trame verte. Ce travail souligne que le problème de l'accessibilité aux espaces verts, pour l'ensemble des franciliens, n'est pas réglé.

Mots clés : Espaces verts ; Trame verte de l'agglomération parisienne ; Accessibilité ; Carence ; Inégalité

En France, la politique des espaces verts ouverts au public remonte à Haussmann. Le regain d'intérêt est perceptible depuis les années 1970. Suite à la décentralisation de 1983, la compétence de l'aménagement du territoire et donc des espaces verts de proximité dépendent des communes. Les autres collectivités territoriales peuvent intervenir également dans cette politique. En outre, la création, la préservation et la valorisation du patrimoine vert restent une volonté des élus locaux. En effet, il n'y a pas d'obligation d'avoir une surface minimale d'espaces verts par habitant. En revanche, la végétation de proximité est une forte préoccupation des citoyens.

Depuis une dizaine d'années, il me semble que les inégalités d'accessibilité aux espaces verts restent toujours présentes dans la Trame verte de l'agglomération parisienne malgré la volonté politique de créer des espaces verts. Les objectifs de la recherche en cours sont de faire un point sur l'état d'avancement du *Plan Vert Régional* d'Ile-de-France, plus particulièrement la Trame verte de l'agglomération parisienne, et de voir si celle-ci a permis de réduire les inégalités d'accessibilité aux espaces verts. Pour cela, je suis parti de la carte de la « *Trame verte d'agglomération* » du *Plan vert régional* de 1995. Les premiers résultats ont permis, entre autre, d'apporter des informations pour la révision du schéma directeur de la région Ile-de-France. Ces quelques pages montrent une partie de ces résultats.

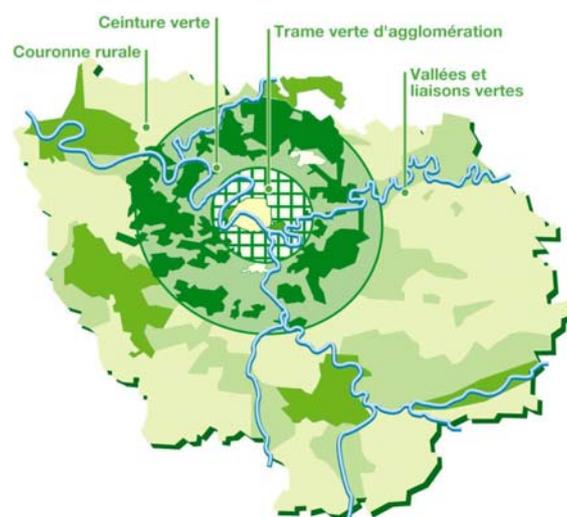
Méthodologie.

Depuis longtemps, l'I.A.U.R.I.F.⁹, avant l'I.A.U.R.P.¹⁰, étudie la place de la végétation en Ile-de-France¹¹. Pour étudier cette problématique, cet institut a divisé la région Ile-de-France, dans les années 1990, en quatre parties : la Trame verte, la ceinture verte, la couronne rurale et les vallées, les liaisons vertes.¹²

Pour comprendre l'évolution des inégalités d'accès aux espaces verts, je suis parti du *Plan Vert Régional* d'Ile-de-France, réalisé par l'I.A.U.R.I.F. en 1995, et plus particulièrement à partir de la carte « *Trame verte d'agglomération* » se trouvant à la page 77 du *Plan vert régional* (cf. Figure 2). Grâce à celle-ci, j'ai fait le point de l'état d'avancement de la politique des espaces verts. A partir de ce document, référant pour le Conseil régional, l'Agence des Espaces Verts de la région Île-de-France (A.E.V.) et d'autres administrations, j'ai regardé l'évolution des inégalités de l'accessibilité aux espaces verts dans la Trame verte depuis dix ans.

Ce travail est une partie des réflexions menées dans ma thèse. Actuellement, je réalise deux enquêtes pour aller plus loin dans cette réflexion autour des inégalités d'accessibilité aux patrimoines verts ouverts au public.

Figure 7 : Schéma du Plan vert (source IAURIF)



⁹ Institut d'Aménagement Urbanisme de la Région Ile-de-France

¹⁰ Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne

¹¹ GERAT P. et DELAVIGNE R. (juillet 1972) - Etude relative aux coûts des espaces verts ; O.N.F et I.A.U.R.P. ; p.141

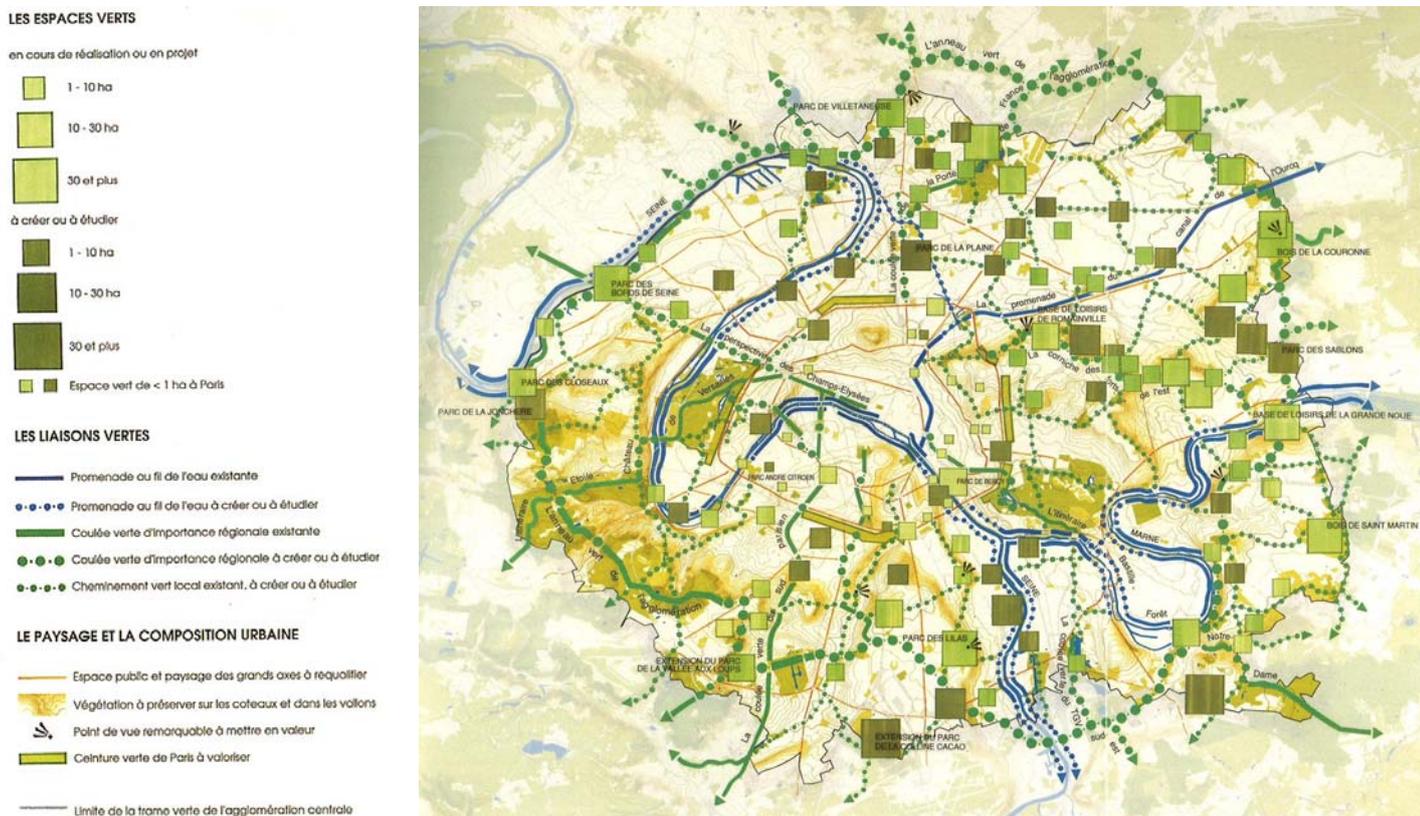
¹² (1995) - Plan vert régional ; I.A.U.R.I.F. ; 262p.

Dans un premier temps, j'ai numérisé l'ensemble des informations de la carte « *Trame verte d'agglomération* »¹³. Dans le même temps, j'ai constitué une base de données sur les espaces verts. Actuellement cette base de données est caractérisée par une table attributive de 9 champs : Identifiant, le nom de l'espace vert, la taille, le propriétaire, la source de l'information, le statut (ouvert, fermé, ouverture sous contrat), type d'espace vert, est-il inscrit dans le Plan vert et l'état d'avancement du projet, espace vert, par rapport au Plan vert de 1995. Pour réaliser cette base de données spatiales, il est impossible de faire une enquête auprès de l'ensemble des communes, 1300 communes en Ile-de-France, sur la question des espaces verts dans le temps et les moyens impartis. Pour cela, je suis parti du recensement des espaces verts dans le Val-de-Marne effectué durant ma maîtrise¹⁴ (comprenant le périmètre, le nom, la surface et le type d'espace vert), de la base SIG de l'I.A.U.R.I.F. (de 2000). Les champs de la base attributive de l'I.A.U.R.I.F. ne sont pas complètement renseignés. J'ai extrait de celle-ci les informations suivantes : le nom, la taille, le type d'espace vert, le statut et le propriétaire. J'ai complété ma base de données grâce aux informations des subventions attribuées par l'Agence des Espaces Verts de la région Ile-de-France (entre 2000 et 2005) et des journaux traitant de l'aménagement du territoire, comme *Le Moniteur*. Il y a peut-être des oublis, du fait de cette méthodologie, mais je les estime minimales au regard de l'échelle de travail (environ 1890 espaces verts). S'il y a eu des omissions, se sont des espaces verts de petite taille, de moins d'un hectare, ne modifiant pas les zones carencées. Actuellement, je suis en train de réaliser une enquête sur le « contenu » des espaces verts sur 16 communes ajoutant 40 champs supplémentaires dans la base de données.

Dans un second temps, un travail de recherche - bibliographique, Internet et des appels téléphoniques aux différents acteurs - a été effectué pour connaître l'état d'avancement des espaces verts dans la Trame verte, informations incorporées dans ma base de données.

Cette démarche de collecte et de croisement de ces informations (requête spatiale entre les différentes « couvertures ») m'a permis de réaliser une base de données spatiales sur les espaces verts, avec le logiciel Arcgis, en vue de savoir l'état d'avancement de la politique des espaces verts et l'évolution des inégalités d'accessibilité aux espaces verts.

Figure 8 : Trame verte d'agglomération - Source : Plan vert régional d'Ile-de-France ; p77



¹³ (1995) *Plan vert régional* ; I.A.U.R.I.F. ; 262p. Carte se trouve à la page 77.

¹⁴ BARRUEL Luc (Octobre 2003) – *Les espaces verts dans le Val-de-Marne : du quantitatif au qualitatif?*; Université Paris8 Saint-Denis Vincennes Géographie ; 271p. ; sous la direction d'Alain BUE.

Depuis 1995, où se localisent les nouveaux espaces verts ? Permettent-ils de réduire les inégalités à l'accessibilité ?

Il est difficile de faire un bilan quantitatif en hectare sur l'évolution de la politique des espaces verts. En effet, il m'est impossible de recalculer ces chiffres même si le *Plan vert régional* donne des chiffres en hectare du fait de la discrétisation des résultats exprimés sur la carte. La représentation cartographique du *Plan vert régional* qui est un document d'intention, « technique » et d'une carte à petite échelle. Mes différentes tentatives donnent de trop grosses différences. Celles-ci ne permettent pas de réaliser une comparaison diachronique quantitative précise en hectare. En conséquence, j'ai regardé l'évolution spatiale des intentions de créations d'espaces verts ouverts au public sur les dix dernières années à partir de la base de données réalisée (cf. page précédente).

Le bilan de la mise en place de Plan vert est plutôt négatif, malgré tout, quelques grands espaces verts ont été créés ou agrandis, (Source : Base de données réalisée en 2005 ; champ « l'état d'avancement du projet par rapport au Plan vert de 1995 »), comme par exemple l'extension du parc départemental de La Courneuve (Seine-Saint-Denis), le parc départemental des Lilas à Vitry-sur-seine (Val-de-Marne). Les financements sont souvent dirigés en vue d'une extension des parcs déjà existants. En revanche, il y a de nombreux espaces verts de moins d'un hectare créés, de nombreux petits espaces verts ont été financés par l'A.E.V. (sources : les rapports pour le conseil d'administration de l'A.E.V. *Aides aux collectivités et associations pour l'acquisition et l'aménagement d'espaces verts, de forêts et de promenades* entre 2000 et décembre 2005) et par les conseils généraux. Ces petits espaces verts n'ont pas d'impact sur la réduction des carences. En effet, pour réduire les carences en espaces verts publics, la taille de ces espaces publics doit être supérieure à 1 hectare. Il est difficile aux collectivités territoriales d'en créer du fait du coût exorbitant du foncier.

Le manque d'espaces verts ouverts au public de proximité et la présence de nombreuses zones carencées restent donc toujours un fait. Si nous prenons les mêmes critères que dans le *Plan vert régional* (p.39), les zones carencées en espaces verts publics n'ont pratiquement pas évoluées. Les figures (cartes) de la page 42 à 44 de mon mémoire de D.E.A.¹⁵ montrent bien ce constat dans le département du Val-de-Marne. Nous pouvons généraliser cette remarque sur l'ensemble de la Trame verte. La création de nombreux espaces verts a été implantée dans les zones déjà bien pourvues, ne réduisant pas les zones carencées. En revanche, j'ai mis en évidence que l'aire d'attraction des liaisons vertes va au-delà de 50 m comme indique le *Plan vert régional* de 1995. L'échantillon de l'enquête effectuée, 150 enquêtes (plus de 50% des visiteurs ont répondu au questionnaire) sur 4 sites dans le département du Val-de-Marne, n'est pas assez important pour définir une nouvelle distance de l'aire d'attraction des liaisons vertes d'un point de vue scientifique. Mais, elle met en évidence que les visiteurs viennent de plus de 50 m. Donc les zones de carences sont moins importantes que le *Plan vert régional* le montre. En 2004, l'I.A.U.R.I.F a changé l'aire d'attraction des liaisons vertes. Malgré tout cela, les carences en espaces ouverts publics restent présentes et ont peu évolué.

Les aires d'attraction pour l'I.A.U.R.I.F. à partir de septembre 2004 :

Aire d'attraction pour les parcs et jardins :

250 m pour les espaces de 1 à 10 ha
500 m pour les espaces de 10 à 30 ha
1 000 m pour les espaces de + de 30 ha.

Aire d'attraction pour les liaisons :

300 m pour les liaisons de 300 à 1 000 m de long
600 m pour les liaisons de 1 000 à 5 000 m
1200 m pour les liaisons de + de 5 000 m

I.A.U.R.I.F prend en compte les différents obstacles, naturels (rivières) et infrastructures de communication (autoroutes et voies ferrées), et le point de passage de celle-ci : ponts, tunnels... Entre le *Plan vert régional* et 09/2004 : Aire d'attraction pour les liaisons était de 50m.

A partir de la base de données réalisée (champ : Etat d'avancement code 2 : Présence d'un espace ouvert qui est le résultat de la comparaison de la carte de la « *Trame verte de l'agglomération parisienne* » et l'état existant à la fin 2005), nous constatons qu'il existe toujours des possibilités de créer des espaces verts publics dans l'agglomération parisienne car il y a encore de nombreux espaces ouverts (friches, bois...). Parmi eux, de nombreux espaces non bâtis sont inscrits dans la Trame verte. Plus de la moitié des espaces verts prévus à la création peuvent être encore réalisés (Figure 3).

Figure 9 : Etat d'avancement en nombre d'espaces verts par rapport à la taille

¹⁵ BARRUEL Luc (juillet 2004) - *Les espaces verts ouverts au public dans le Val-de-Marne : les inégalités d'accès ? Tentative d'une modélisation grâce au SIG* ; Université Paris 8 Saint-Denis Vincennes ; p.171 ; sous la direction Alain BUE et Vincent GODARD.

Surface dans le plan vert	-10 ha				10 à 30 ha				+ 30 ha				Total
	Création ou extension	Présence d'un espace ouvert	Nécessite une mutation forte	Total	Création ou extension	Présence d'un espace ouvert	Nécessite une mutation forte	Total	Création ou extension	Présence d'un espace ouvert	Nécessite une mutation forte	Total	
Etat d'avancement													
HAUTS DE SEINE	3	10		13	1	12	6	19	2	2		4	36
PARIS	13	6	3	22	6	4		10		4		4	36
SEINE-SAINT-DENIS (une partie)	3	20	9	32	9	34	21	64	1	6		7	103
VAL DE MARNE (une partie)	3	2	6	11	2	14	3	19		8	3	11	41
Total	22	38	18	78	18	64	30	112	3	20	3	26	216

Sources : Plan vert régional de 1995, photographie aérienne 2003

Réalisé par L. BARRUEL en décembre 2005 à partir de la base de données expliquée au début de l'article.

Actuellement plusieurs de ces espaces non bâtis sont en travaux en vue de créer un espace vert. L'inconnu reste présent sur plusieurs zones non bâties. Les décideurs vont-ils avoir la volonté de créer des espaces verts ouverts au public ou de les urbaniser ?

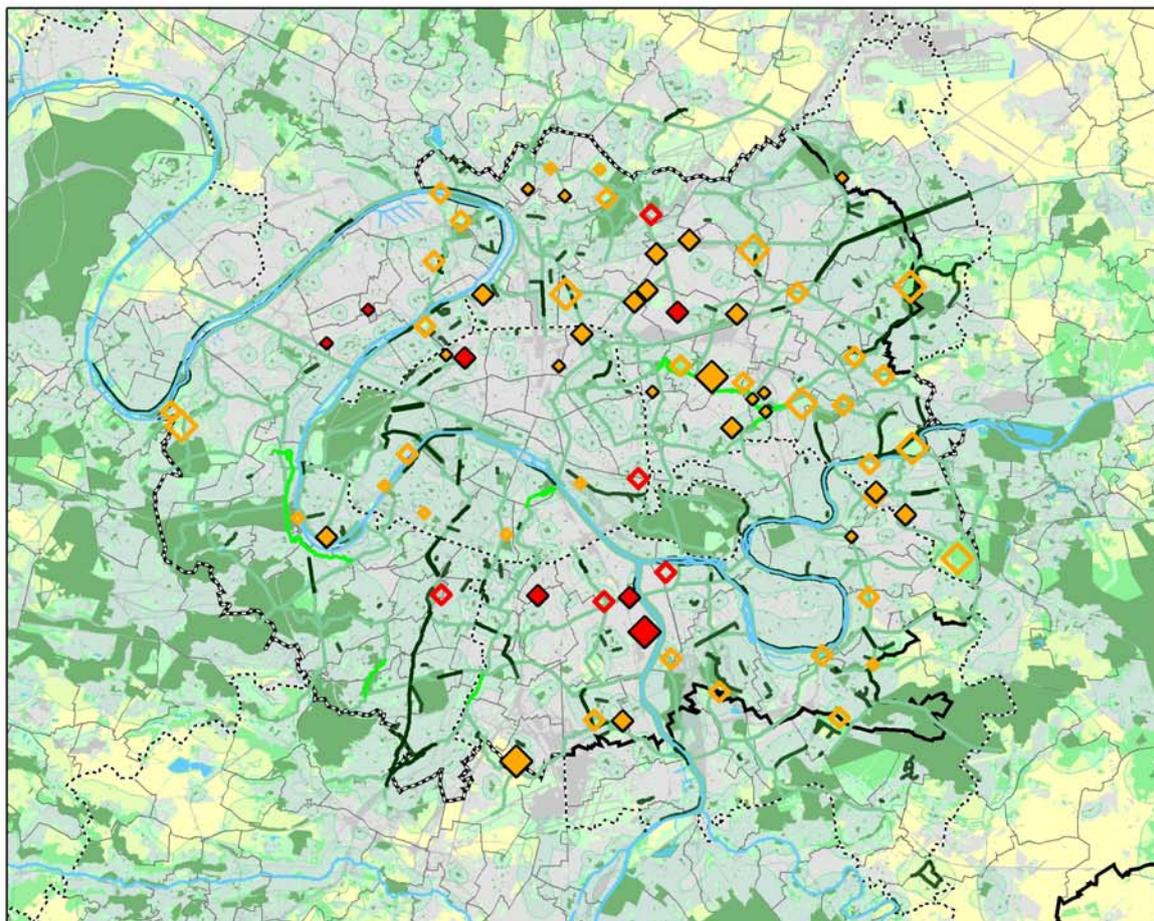
Conclusion.

Les inégalités à l'accessibilité aux espaces verts restent réelles et ont peu changé. En effet seul, une dizaine de parcs réduisent un peu les zones de carences en espaces verts, par exemple à Vitry-sur-Seine (Val-de-Marne) avec le parc départemental des Lilas. La majorité des espaces verts créés, de plus de un hectare, a été réalisée dans les zones déjà pourvues dans les zones accessibles par rapport à la carte « *la desserte en espaces verts publics* » p.38 du Plan vert. Malgré l'augmentation des espaces verts dans la trame verte, il y a eu peu d'impact sur la réduction des inégalités à l'accessibilité aux espaces verts publics.

La réflexion sur l'état, passé et actuel, des espaces verts m'a permis de me poser plusieurs autres questions. Par exemple, il faudra créer des espaces verts de moyenne taille, environ de 5 à 10 hectares, dans les zones carencées. Cette taille permet d'implanter plusieurs fonctions. Ce type d'espaces verts n'est pas d'intérêt régional mais plutôt départemental ou communal. Mais à travers le futur schéma directeur de la région Ile-de-France, le Conseil régional doit avoir le souci d'en incorporer afin d'améliorer la qualité du « cadre de vie » du tissu urbain. Mais est-ce que cela est possible ? Actuellement, je suis en train de recenser les espaces ouverts pour voir où l'on pourrait implanter de nouveaux espaces verts. La carte suivante montre qu'il reste encore des possibilités de créer des espaces verts étant inscrits dans le Plan vert de 1995 mais non réalisés. Elle comprend les zones de buffer, aires d'attraction, définies par l'I.A.U.R.I.F. après septembre 2004, et de la collecte d'informations sur l'état d'avancement de la Trame verte de l'agglomération parisienne (champs : code 2 : Présence d'un espace ouvert et code 3 : Nécessite une mutation forte) réalisée en décembre 2005. Par le système de requêtes spatiales, j'ai fait ressortir les espaces verts à créer en priorité pour réduire significativement les secteurs carencés en espaces verts publics.

Enfin, le croisement de la zone de desserte et de la qualité des espaces verts n'a jamais été fait. Ceci permettra de réaliser une nouvelle carte et d'analyser différemment les carences avec l'offre des espaces verts. Actuellement, je réalise une enquête sur la qualité des espaces verts sur 16 communes, partant de l'arrondissement du 18^e de Paris jusqu'à Sarcelles, en vue d'avoir une nouvelle approche sur les zones de desserte.

Figure 4 : Actions prioritaires envers les espaces verts dans la Trame verte



Source : Plan vert régional de 1995, page 77 carte "Trame verte d'agglomération"
Fonds de plan : I.A.U.R.I.F. Réalisée par L. BARRUEL, en décembre 2005

SIMPEST : UN MODELE MULTI-AGENTS POUR SIMULER L'EXPRESSION SPATIALE A GRANDE ECHELLE DE LA PESTE MALGACHE

Vincent Laperrière

Laboratoire SET, UMR 5603 CNRS/UPPA, 64000 Pau (France)

vincent_laperriere@yahoo.fr

Ce papier présente un travail de modélisation multi-agents consacré à la peste bubonique, maladie vectorielle à hôte intermédiaire réémergente dans le monde et notamment à Madagascar (OMS, 1994), premier pays rapporteur de cas. L'objectif de cette modélisation est de représenter les éléments en interaction dans la dynamique épidémique afin de mieux comprendre, par des simulations exploratoires, l'expression spatio-temporelle de la peste à grande échelle, au cours d'une phase épidémique. Nous commencerons par situer le contexte scientifique de notre travail de modélisation, puis nous exposerons la structure du modèle SIMPEST avant de présenter nos premières explorations du comportement du modèle.

1. Contexte de modélisation

La peste bubonique est une maladie vectorielle à hôte intermédiaire qui implique à Madagascar, en dehors du bacille *Yersinia pestis*, 3 principales espèces : le rat noir est le réservoir principal de la maladie, la puce en est le vecteur, qui s'infecte sur des rat infectés et la transmet à d'autres rats susceptibles, ou éventuellement à l'homme : aussi l'homme représente-t-il un hôte secondaire, une impasse dans le cycle épidémiologique.

Le contexte scientifique sur lequel nous nous adossons dans notre démarche de modélisation, à la fois en amont pour sa conception et son calibrage mais également en aval, pour sa validation, comprend deux sources :

1. Des connaissances sur les espèces impliquées dans le cycle de la peste rurale malgache et sur le processus de transmission inter-individuelle. Ces connaissances sont issues d'expériences de laboratoire ou de relevés de terrain (Pollitzer, 1954 ; Brygoo, 1966 ; Audoin-Rouzeau, 2003).

2. Des travaux de modélisation, pour rendre compte de la dynamique des maladies transmissibles au niveau populationnel (Anderson, May, ; Mollison, 1995). W.O. Kermack et A.G. MacKendrick en 1927 ont été les premiers à définir des seuils théoriques, par exemple la densité initiale d'individus critique, pour qu'une épidémie se développe. Deux essais de modélisation mathématique ont été réalisés à propos de la peste. Le premier (Noble, 1974) vise à reproduire la fameuse « peste noire », pandémie qui a frappé l'Europe au XIV^{ème} siècle. A cette échelle d'analyse, le modèle, très simple, ne considère que la variation de la population humaine : le mécanisme de propagation *via* les piqûres des puces infectées sur les rats est globalisé dans un paramètre du modèle, le taux d'infection. Le deuxième modèle développé plus récemment (Keeling, Gilligan, 2000) analyse la dynamique de la maladie à une échelle plus locale, désagrégant la dynamique de la maladie au niveau des trois populations (rats, puces et humains) impliquées. Il a permis de mettre en évidence une densité seuil d'approximativement 3000 rats/km² en milieu urbain pour qu'une épidémie murine puisse se développer et qu'en conséquence la maladie puisse se propager à l'homme.

2. Conception du modèle

A partir de ces connaissances scientifiques, notre objectif et stratégie de modélisation a été de reproduire la transmission de la peste dans une logique générative « *bottom up* ». Notre parti pris est d'explicitier et intégrer dans le modèle les comportements spatiaux des agents impliqués dans la maladie, pour faire ressortir et analyser les aspects contingents de la transmission de la maladie liés aux rencontres fortuites entre ces agents. Pour ce faire, contrairement aux modèles mathématiques compartimentaux, on introduit les éléments connus sur la transmission de la peste au niveau individuel. On observe en sortie la dynamique de la maladie, dont on peut analyser la série temporelle et la configuration spatiale : on peut en effet dresser des cartes d'incidence qui représentent les lieux de la transmission de la maladie.

Notre modèle a été programmé sur la plate-forme Netlogo, qui nous permet d'initialiser un environnement sous forme d'automate cellulaire sur lequel évoluent des agents rat - puces et humains. Les humains et les rats sont disposés dans leurs habitats respectifs sur un espace schématisé, représentant un village malgache et ses environs (figure 1). L'environnement est initialisé à une certaine époque de l'année, et varie en fonction des saisons, au gré de la croissance des cultures et des récoltes : ainsi la localisation de la nourriture change selon les saisons, ce qui va avoir un impact sur les déplacements humains et des rats.

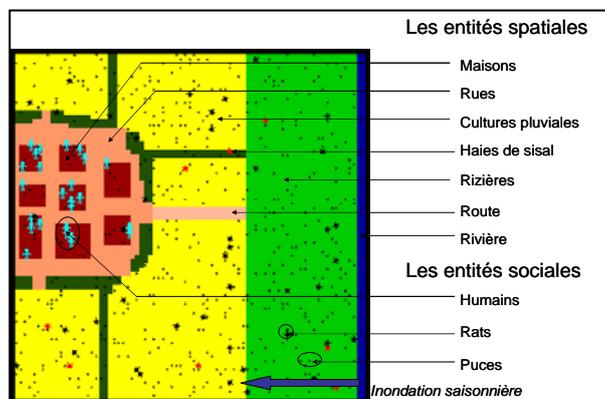


Figure 1. L'environnement du modèle SIMPEST développé sous Netlogo

Globalement le comportement des agents est dicté par trois composantes :

1. La démographie des agents suit une loi logistique : un paramètre stochastique règle les naissances, modulé par une capacité de charge du milieu, tandis que les décès sont déterminés par une espérance de vie.

2. En ce qui concerne la mobilité des agents :

- Celle des humains est déterministe : ils empruntent une trajectoire invariante de leur maison dans le village à leur lieu de travail dans les champs.
- Les rats se déplacent la nuit à la recherche de nourriture. Ils errent de lieu de nourriture en lieu de nourriture puis reviennent dans leur terrier.
- Les puces à l'état libre attendent qu'un hôte passe à proximité, elles s'y fixent et restent fixées à moins que leur hôte meure.

3. Enfin, la transmission de la peste implémentée au niveau de la puce est stochastique dans la mesure où toute piqûre n'est pas systématiquement infectante. Les diagrammes UML états-transitions (figure 2) montrent les états épidémiologiques qui caractérisent les individus des différentes populations d'agents: lorsqu'un individu s'infecte, il passe d'un état susceptible à un état exposé (ou pestifère pour la puce), puis à l'issue d'une période d'incubation devient infectieux, c'est-à-dire capable de transmettre la peste (pestigène pour la puce). A l'issue de la période infectieuse, la puce meurt du fait de son incapacité à se nourrir. L'humain et le rat, en fonction d'une probabilité de létalité fixée, guérissent de la maladie et deviennent immunisés ou en meurent.

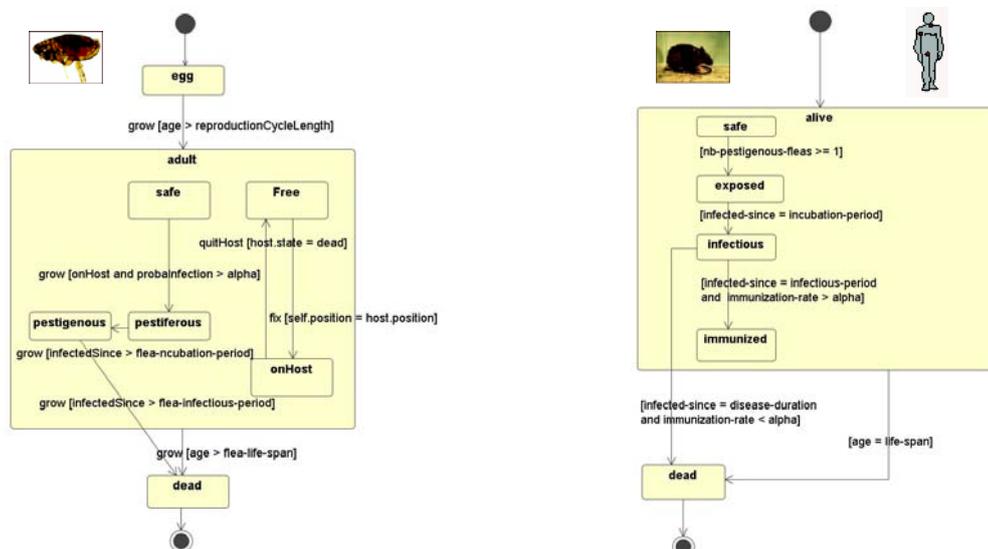


Figure 2. Diagrammes UML états-transitions du vecteur, la puce et de l'hôte, rat ou humain

3. Exploration du modèle

Notre modèle représente à l'heure actuelle la dynamique de la peste sur un environnement schématique. C'est un modèle théorique, fondé sur notre connaissance des processus de transmission inter-individuelle et d'évolution individuelle de la maladie. Celui-ci fonctionne comme un « laboratoire virtuel » d'expérimentation. Le but des simulations est alors de réaliser des analyses de sensibilités qui consistent à investiguer la réaction du modèle à des changements drastiques dans ses paramètres d'entrée et sa structure. (Kleijnen, 1995 ; Saltelli et al., 2000). Il est cependant bien souvent difficile de savoir si un comportement inattendu –voire même attendu - du système est lié :

- à une erreur d'implémentation du modèle ;
- à la structure du modèle, faisant référence à sa conception ;
- à un effet contre intuitif lié à la complexité du phénomène modélisé.

Aussi les analyses de sensibilité doivent-elles intervenir au cours même de la construction progressive du modèle : Elles nous permettent de vérifier le programme et nous guident dans la complication progressive des règles, en nous focalisant sur les paramètres identifiés les plus influents et en laissant de côté les autres.

Au-delà de la phase de construction du modèle, les analyses de sensibilité constituent déjà un apport de connaissance sur la part explicative des facteurs de différents ordres (démographique, épidémiologique ou géographique) influençant le développement de la peste. Elles nous guident alors dans l'exploration de la dynamique de la maladie :

A ce titre, nos premières analyses ont consisté à varier systématiquement toutes les entrées du modèle, selon la méthode OAT (*One At a Time analysis*) c'est-à-dire les unes après les autres, pour mesurer leur influence respective sur les variables de sortie. Nous avons distingué, parmi les entrées du modèle :

- Les paramètres spécifiques au phénomène modélisé : démographie, transmission inter-individuelle et à évolution individuelle de la maladie.
- Les variables d'initialisation spécifiques à la population et à l'environnement initialisés (conditions initiales) : la densité de population initiale, sa répartition et la proportion initiale d'infectieux.

Pour les analyses présentées ici, nous nous sommes concentrés sur une variable de sortie mesurée en fin de simulation : le cumul des puces infectieuses qui se sont retrouvées libres à un moment donné de la simulation nous donne le meilleur indicateur de la force de l'infection et de sa propension à générer des cas de peste humains.

En ce qui concerne les paramètres du modèle (figure 3), les analyses ont révélé une forte sensibilité aux paramètres traduisant une durée (espérance de vie, durée de la maladie). Nos résultats sont confortés par les analyses de sensibilité réalisées par M. J. Keeling et C. A. Gilligan, à partir d'un modèle mathématique compartimental (Keeling, Gilligan, 2000) pour la même variable de sortie : entre les deux modèles on retrouve une forte sensibilité au paramètre période infectieuse du rat, qui a un effet négatif sur le cumul des puces libres infectantes ainsi que sur le cumul des cas de rat. Une forte sensibilité commune concerne également les paramètres de reproduction de la puce. Ainsi la démographie de la puce apparaît plus déterminante sur la force de l'infection que celle du rat.

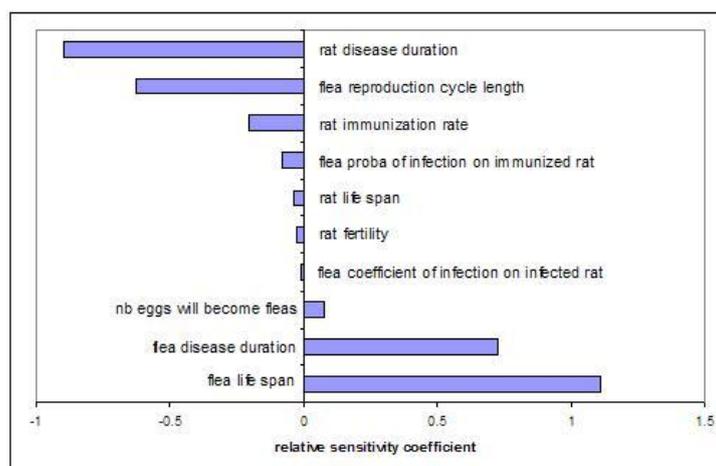


Figure 3. Paramètres du modèle classés selon leur coefficient de sensibilité relatif. Pour chaque paramètre du modèle, est calculé un coefficient de sensibilité à partir d'un graphique de dispersion représentant en abscisse le paramètre varié - 20 simulations sont réalisées par valeur du paramètre testé - et en ordonnée la variable de sortie mesurée en fin de simulation (une simulation représente une durée de 30 jours). Une droite est ajustée au nuage de point. Le coefficient de sensibilité relatif représente la pente de cette droite, normalisée de façon à pouvoir comparer les coefficients de sensibilité des différentes entrées pour les différentes variables de sortie.

En ce qui concerne les variables d'initialisation (figure 4), nous avons réalisé un plan d'expérience consistant à mesurer l'effet de la variation combinée de la densité de rats et de puces initiales sur le potentiel d'infection à l'homme. Ces deux variables permettent de définir l'indice puclidien, à savoir le nombre moyen de puce par rat. Nos analyses ont montré que plus celui-ci est fort, plus la force de l'infection et le risque de propagation à l'homme augmentent, avec toutefois l'apparition d'un plafond au-delà d'environ 3 puces / rat.

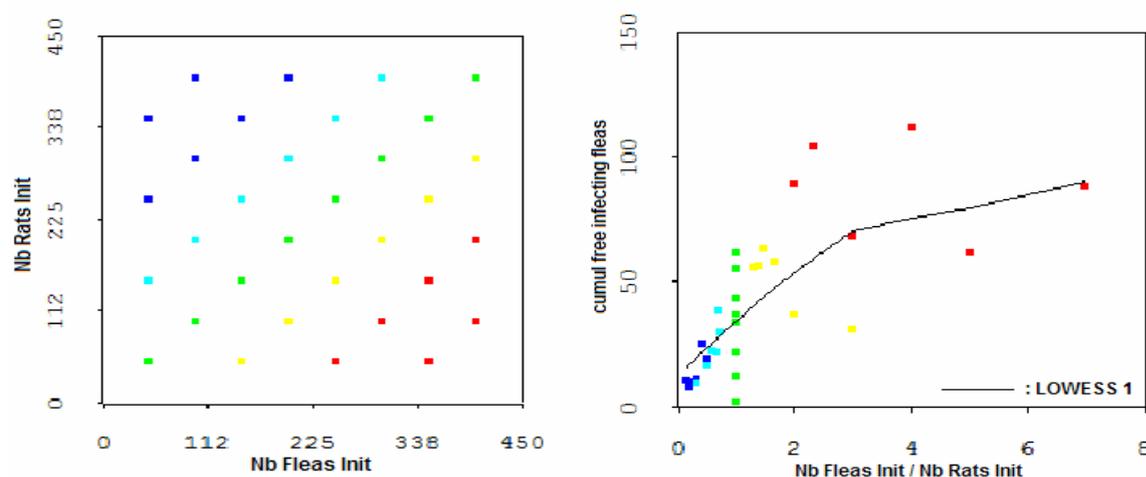


Figure 4. Analyses de sensibilité aux populations initiales de puces et de rats.

Ces premiers résultats, qui classent paramètres et variables d'entrée selon leur degré d'influence sur les sorties du modèle, nous orientent vers d'autres types d'analyses, qui visent à explorer le comportement du système dans sa dimension spatio-temporelle, d'une part par l'analyse des séries temporelles simulées, d'autre part par l'analyse des configurations spatiales générées ou cartes d'incidence simulées.

Dans ce sens, prenons l'exemple de nouvelles expériences réalisées sur les paramètres gouvernant l'évolution individuelle de la maladie. Les paramètres durée de la maladie de la puce et du rat ont été identifiés dans nos

premières analyses comme parmi les plus influents. C'est pourquoi nous avons cherché à introduire plus de précision sur ces paramètres, d'une part en dissociant le paramètre durée de la maladie en deux paramètres période d'incubation et période infectieuse, d'autre part en précisant leurs valeurs de référence par des lectures bibliographiques plus approfondies (Audoin-Rouzeau, 2003 ; Pollitzer, 1954). La figure 5 montre l'effet d'un changement de ces paramètres sur l'incidence simulée de la peste chez le rat, mesurée journalièrement.

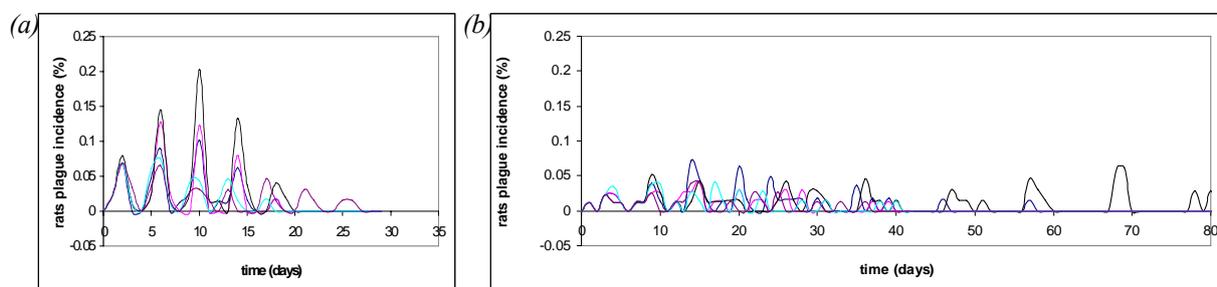


Figure 5. Séries temporelles représentant l'incidence simulée de la peste chez le rat, pour deux jeux de paramètres de durée de la maladie, avant et après reconsidération de leurs valeurs de référence :

(a) Anciennes valeurs de référence : période d'incubation de la puce : 2 jours ; période infectieuse de la puce : 4 jours ; période d'incubation du rat : 1,5 jours ; période infectieuse du rat : 2,5 jours.

(b) Nouvelles valeurs de référence : période d'incubation de la puce : 9 jours ; période infectieuse de la puce : 2,8 jours ; période d'incubation du rat : 1,5 jours ; période infectieuse du rat : 4 jours.

Pour chaque jeu de paramètres, cinq simulations sont réalisées pour mesurer l'effet de la stochasticité du modèle.

Ces nouvelles analyses de sensibilité, réalisées sur les paramètres réglant l'évolution individuelle de la maladie, précédemment identifiés comme parmi les plus influents sur la force de l'infection, montrent que ceux-ci sont importants à préciser pour comprendre la l'allure de la courbe épidémique de la maladie et sa possible pérennisation : nous constatons qu'une augmentation drastique de la période d'incubation de la puce, combinée à une diminution de la période infectieuse du rat, tandis que la période infectieuse de la puce diminue, limite le développement d'une épidémie et contribue à la persistance de la maladie à un niveau endémique. Soulignons cependant que les aspects considérés comme stochastiques dans le modèle, se référant notamment au déplacement du rat, sont responsables d'une variation importante de l'intensité et la durée de l'infection d'une simulation à l'autre. Enfin, la figure 5 nous fait remarquer que l'incidence obéit à des cycles périodiques à périodicité plus ou moins régulière. L'origine de ces cycles suscite notre étonnement : seules des analyses de sensibilité complémentaires nous permettront de trancher si ces cycles sont un artefact du modèle ou s'ils constitue un phénomène émergent, inhérent au processus modélisé.

4. Investigations futures

Après avoir présenté la structure de notre modèle Simpest, nous avons exposé la démarche qui nous guide dans la conduite des simulations. Les analyses de sensibilité constituent le seul et unique moyen de maîtriser et explorer le comportement du modèle. Une première étape a été de mesurer la sensibilité de la force de l'infection à l'ensemble des entrées, paramètres et variables d'initialisation du modèle. Cette première étape nous a permis d'identifier les paramètres et variables d'entrée les plus influents, ceux-là même sur lesquels des non linéarités ou encore des effets de seuils sont à rechercher, de développement épidémique ou de persistance endémique, à l'instar de ceux mis en évidence par les modèles mathématiques. A ce titre, les analyses réalisées par M. J. Keeling et C. A. Gilligan sur un modèle à équations différentielles constituent une source extérieure utile à la validation de nos résultats. Nos investigations futures porteront plus spécifiquement sur l'analyse des séries temporelles et des configurations spatiales de la maladie. Elles s'inscriront dans le cadre plus général des analyses de sensibilité à la structure spatiale initiale, par la confrontation de notre modèle théorique à différentes situations empiriques.

5. Bibliographie

- Anderson R. M., May R. M., 1991, *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control*, Oxford University Press, Oxford.
- Audouin-Rouzeau F., 2003, *Les chemins de la peste : Le rat, la puce et l'homme*, Presses Universitaires de Rennes, 371 p.
- Brygoo E. R., 1966, « Epidémiologie de la peste à Madagascar », *Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar*, n° 35, pp. 9-147.
- Keeling M. J., Gilligan C. A., 2000, « Bubonic plague : a metapopulation model of a zoonosis », *Proc. R. Soc. Lond. B*, n° 267, pp. 2219-2230.
- Kermack W. O., McKendrick A. G., 1927, « A contribution to the mathematical theory of epidemics », *Proc. Roy. Soc. A*, n° 115, pp. 700-721.
- Kleijnen J. P. C., 1995, « Verification and validation of simulation model », *European journal of operational research* n° 82, pp. 145-162.
- Mollison D. (dir.), 1995, *Epidemic models : their structure and relation to data*, Cambridge University Press, 442 p.
- Noble J.V., 1974, « Geographic and temporal development of plagues », *Nature*, n° 250, pp. 726-729.
- Organisation Mondiale de la Santé, 1994, « La peste humaine en 1994 », *Relevé Epid. Hebd.* n° 71, pp. 165-172.
- Pollitzer R., 1954, *La peste*, OMS, Série de monographies n°22, Genève, 737 p.
- Saltelli A., Chan K., Scott M., eds., 2000, *Sensitivity Analysis*, Wiley, New York, 475 p.

LA PRISE EN COMPTE DE L'INCERTITUDE DANS UNE DEMARCHE DE MODELISATION PREDICTIVE

Reine Maria Basse

Doctorante, UMR 6012 ESPACE, CNRS - Equipe de Nice, basse@unice.fr
98 bd Edouard Herriot - BP 3209, 06204 NICE Cedex

Résumé

Les systèmes territoriaux sont composés d'éléments visibles et invisibles qui entrent en interaction et révèlent le dynamisme des territoires. Ces systèmes sont souvent caractérisés par des incertitudes du fait de leur fonctionnement complexe. Et puisque la modélisation aide à la connaissance et à la compréhension du fonctionnement des différents éléments qui entrent en interaction dans l'espace géographique, il est nécessaire d'utiliser des modèles ayant la capacité de prendre en compte ces incertitudes. La modélisation prédictive, à partir de la théorie des évidences de Dempster-Shafer et de la théorie de Dezert-Smarandache est un moyen de prendre en compte incertitudes, paradoxes et imprécisions en vue d'une prise de décision.

Mots clés : Modélisation prédictive, incertitude, territoire transfrontalier, interactions entre Territoire et Transports, LGV PACA, théorie des évidences de *Dempster-Shafer*, théorie de *Dezert-Smarandache*

A l'heure où le réseau ferroviaire européen à grande vitesse se densifie pour mieux rapprocher les territoires, la région Provence-Alpes Côte d'Azur, pour être connectée à toute l'Europe, a lancé une pré-étude fonctionnelle en 2000 sur le projet intitulé « ligne à grande vitesse LGV-PACA », qui doit relier la région PACA et la région Ligure en Italie. C'est dans ce contexte de « projet transfrontalier » que cette recherche doctorale¹⁶ intitulée « les enjeux transfrontaliers de la LGV PACA », a pour objectif final de mettre à la disposition des acteurs, des outils ainsi que des connaissances d'aide à la décision dans le cadre de l'aménagement du territoire transfrontalier.

Il s'agit, d'envisager le devenir du territoire transfrontalier à partir d'un objet encore inexistant, c'est-à-dire la LGV-PACA. On suppose au préalable de la recherche, que le TGV a des effets sur l'organisation d'un territoire. La question est : comment mettre en évidence ces effets, surtout si l'infrastructure n'existe pas encore.

Il existe des méthodes d'analyse en géographie qui permettent d'appréhender le devenir des territoires. Parmi celles-ci, on trouve la géoprospective et/ou la démarche prédictive. Ces deux approches ont pour finalité la production d'images du futur. Toutefois, elles n'ont pas les mêmes objectifs. L'approche

prospective cherche à anticiper l'évolution à moyen et long termes d'un phénomène à partir de la situation présente. Quant à l'approche prédictive, elle a pour vocation la prévision à court terme. Elle implique de sortir des approches mathématiques, tels les modèles cellulaires (automates cellulaires) et les modèles d'évolution (systèmes multi-agents) pour la concevoir. De plus, la modélisation prédictive inclut dans sa démarche l'incertitude souvent liée à l'objet d'étude lui-même. L'échelle temporelle et la prise en compte de l'incertitude en amont de la modélisation différencient donc ces deux approches qui peuvent être complémentaires.

Principalement utilisée en traitement d'images¹⁷ la modélisation prédictive est encore peu utilisée en sciences sociales. Du fait de sa capacité à prendre en compte l'incertitude qui entoure l'objet d'analyse, l'approche prédictive présente un intérêt certain dans l'évaluation des impacts à court terme de l'infrastructure ferroviaire. Il est donc important de se demander comment, tout en tenant compte de ces incertitudes « prédire » le devenir de cet espace ? Deux théories, qui procèdent de l'approche prédictive semblent apporter des éléments de réponse. Il s'agit de la théorie des évidences de *Dempster-Shafer* [Shafer, 1976] et de la théorie de *Dezert-Smarandache* [Dezert, 2003]. Elles ont toutes les deux l'avantage

¹⁶ La thèse intitulée « LGV PACA, les enjeux transfrontaliers : développement territorial et relations avec la Principauté de Monaco et l'Italie » est sous la direction de Christine Voiron, professeur à l'Université de Nice Sophia-Antipolis et directrice de l'UMR 6012 Espace.

¹⁷ Bloch. I., Maître H., 1994. *Fusion de données en traitement d'images : modèles d'information et décisions*. Traitement du signal, vol. 6.

de prendre en compte la notion d'incertitude dans le processus de modélisation.

C'est en trois sections principales que s'organise ce texte. Dans la première section, nous expliciterons la notion d'incertitude. Dans la seconde section, nous montrons la manière d'appréhender l'incertitude par rapport à notre espace d'étude. Enfin, la dernière section s'attache à présenter les applications possibles de la modélisation prédictive dans notre recherche.

I. L'incertitude dans la prospective territoriale franco-italienne

Pour comprendre le fonctionnement des territoires, il est important de tenir compte de tous les facteurs visibles et/ou invisibles qui entrent en interactions. Ces facteurs, souvent complexes sont généralement difficiles à analyser du fait des incertitudes qui peuvent les caractériser.

1.1. Définition de l'incertitude

L'incertitude est une notion généralement définie comme étant soit [1] *identifiable*, et dans ce cas le terme fait allusion aux données et aux mesures (échantillonnage, erreurs de mesures, nomenclature...) dont dispose le chercheur pour étayer son analyse; soit [2] *non déterminée*, ici, elle désigne l'objet étudié (dynamique temporelle, échelle d'analyse, modèle utilisé, connaissance, continuité et/ou hétérogénéité de l'objet étudié,...). [Hatem, 1993].

Pour bien distinguer les deux définitions, le terme « imprécision » est aussi utilisé pour faire référence à « l'incertitude identifiable ». On parle alors d'incertitude et d'imprécision en modélisation prédictive.

L'incertitude ne doit donc pas être comprise comme étant de « l'ignorance » ; elle est ce qui est difficilement quantifiable, non mesurable, et par conséquent, délicat à intégrer dans le processus de modélisation. Dans notre recherche, l'incertitude est présente à trois niveaux. Elle est liée aux données disponibles, à la connaissance du fonctionnement de la zone transfrontalière elle-même et enfin au projet de transport.

1.2 L'incertitude dans la connaissance de l'espace transfrontalier franco-italien et franco-monégasque.

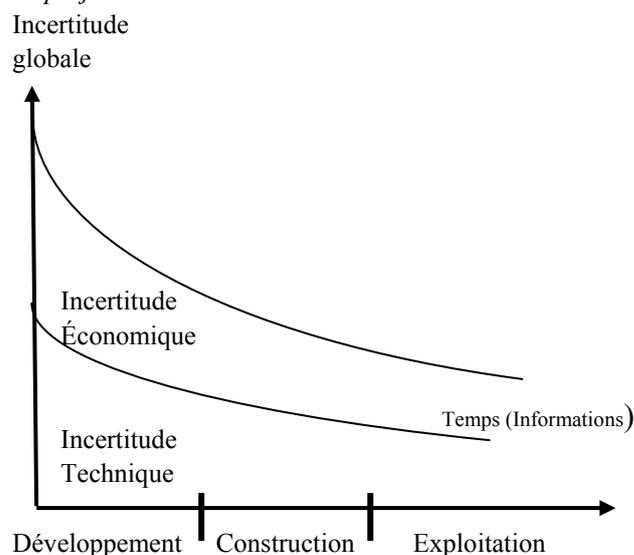
L'étape de la connaissance du fonctionnement de l'espace transfrontalier est complexe et nécessite la prise en compte

d'informations hétérogènes (données économiques, flux de mobilité...). Les limites des informations disponibles sur l'aire d'étude (informations non exhaustives, inexistantes, non homogènes...) constituent un handicap pour la connaissance du fonctionnement réel du territoire transfrontalier. C'est sous cette première forme que l'incertitude est présente dans l'aire d'étude.

1.3 Incertitudes dans le projet de transport LGV PACA

En France, l'infrastructure de transport grande vitesse est généralement débattue à des échelles de temps très importantes, entre quinze et vingt ans avant son exploitation. Cette nécessité de temps long conforte les incertitudes qui existent autour des projets à grande vitesse ferroviaire. En effet, comme le montre la figure 2, entre la phase du développement du projet et la phase de l'exploitation, il y a une grande place occupée par l'incertitude. On constate d'abord des incertitudes d'ordre technique, liées à l'insertion du projet dans un espace marqué par des enjeux environnementaux forts (nombreux massifs montagneux, urbanisation dense...). Les incertitudes sont aussi économiques : en effet, les coûts estimés (entre 5 et 8 milliards d'euros pour la LGV PACA), amènent très souvent les acteurs à « geler » le projet ou à le modifier ; il n'existe alors aucune certitude que le projet arrive au stade de la construction avec ses caractéristiques initiales. Mais avec le temps l'incertitude tant à diminuer.

Figure 2 : Les incertitudes autour du projet LGV PACA



Source : IMRI, Université Paris Dauphine, Prédit, 1996-2000

En géographie, les systèmes de transports sont souvent abordés à partir d'analyse des réseaux. L'approche que nous proposons est différente et innovante car elle apporte un élément d'analyse novateur : elle permet au géographe d'aborder la notion d'incertitude et de produire une évolution à court terme d'une dynamique.

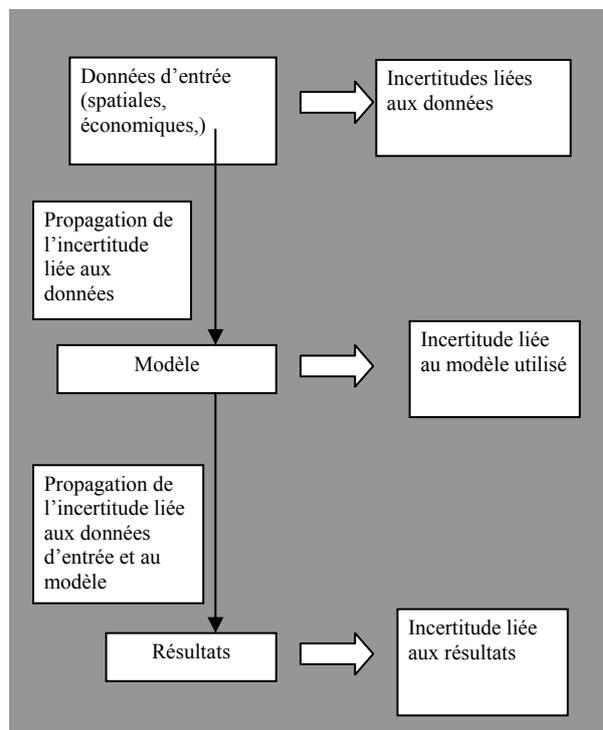
L'incertitude est la notion fondamentale de la modélisation prédictive, il est dès lors nécessaire de montrer la manière de le prendre en compte dans le processus de modélisation.

II. Place de l'incertitude dans la démarche prédictive

2.1 Incertitude, analyse spatiale et modélisation prédictive

L'analyse spatiale utilise des informations hétérogènes (qualitatives et quantitatives) et multisources, ainsi que des outils de plus en plus performants (télédétection, SIG, contrôle terrain...), en vue d'une prise de décision. Ces outils ont offert de nouvelles perspectives à l'analyse spatiale dans sa vocation à connaître le fonctionnement des territoires. Toutefois, des difficultés de gestion des bases de données apparaissent, et sont liées aux erreurs de mesures, aux contenus et à l'exactitude des informations. La gestion des imprécisions et/ou incertitudes est devenue un enjeu majeur pour l'analyse spatiale. La figure 3 indique la présence de l'incertitude dans les différentes phases de la modélisation en analyse spatiale. Trois niveaux d'incertitude doivent être pris en compte dans une démarche de modélisation prédictive. La première forme d'incertitude se situe au niveau des données spatiales. Face à cette forme d'imprécision, il existe deux méthodes : la première consiste à ne prendre en considération que les données les plus fiables ; la seconde pondère chaque donnée d'entrée en fonction de sa fiabilité à l'aide de méthodes géostatistiques ou statistiques. La deuxième incertitude est liée au modèle lui-même. Elle dépend beaucoup du paramétrage. Le modélisateur doit tenir compte de la complexité du modèle, mesurer sa fiabilité et minimiser ainsi la propagation des erreurs. La dernière incertitude se trouve au niveau des résultats, et dépend fortement de celles situées en amont du processus de modélisation (données d'entrée et modèle utilisé). La crédibilité des résultats est souvent vérifiée à partir d'une comparaison ou d'une simple vérification de terrain.

Figure 3 : Prise en compte de l'incertitude dans les phases de modélisation prédictive



Source : Corgne.S, 2004.

2.2 Apport de la prise en compte de l'incertitude en géographie

En géographie, la prise en compte de l'incertitude est intéressante pour minimiser la propagation des erreurs dans le cadre de l'analyse. Elle peut aussi contribuer à mieux mettre en évidence les interactions qui existent entre les différents éléments qui se situent dans l'espace géographique et dont la connaissance du fonctionnement est souvent incertain. Il est dès lors important de porter la réflexion sur des modèles dont la structure intègre le caractère incertain des phénomènes. C'est le cas des modèles experts utilisés en géographie (système expert, modèles probabiliste bayésiens, les ensembles flous...). Toutefois, seuls les modèles basés sur les théories de *Dempster-Shafer* et sur celle de *Dezert-Smarandache*, sont en mesure de gérer à la fois et de façon distincte l'incertitude liée au phénomène étudié et l'imprécision liée aux données d'entrée spatiale et au modèle. [Corgne S, 2004].

2.3. Présentations des théories des évidences de *Dempster-Shafer* et de celle de *Desert-Smarandache*

La théorie des évidences de *Dempster-Shafer* a fait l'objet d'applications dans des domaines comme la médecine ou l'aéronautique. Elle est récemment utilisée par les géographes, notamment en géographie physique où les applications ont été orientées sur le thème de l'occupation et de l'utilisation des sols.

L'utilisation de cette théorie dans le contexte agricole a permis de prédire la présence d'un couvert végétal de parcelles agricoles, affectées par un phénomène d'eutrophisation [Corgne, S, 2004]. Le modélisateur a utilisé des sources d'information différentes (images satellites, données économiques, expertises...) pour soutenir les hypothèses émises au départ : présence ou absence de couvert végétal. Ces hypothèses indiquent au départ de l'analyse, le caractère incertain du phénomène. Un niveau d'incertitude est attribué à chaque source d'information en fonction de son degré de pertinence.

Le modèle utilisé sur le bassin versant du Yar en Haute Bretagne basé sur la théorie des évidences, a permis de faire une distinction entre les prédictions erronées et celles qui sont correctes. La théorie de Dempster-Shafer est appréhendée à partir de fonctions de plausibilité¹⁸ et de croyance¹⁹. Elle présente l'inconvénient majeur de produire des résultats contrastés quand les données d'entrée ne sont pas que de type statistique. C'est pour gérer ce problème de fusion²⁰ de données hétérogènes, que la théorie de *Desert-Smarandache* a été développée en 2003. Elle présente l'avantage de pouvoir améliorer les scores de prédiction et d'optimiser ainsi les résultats.

Pour notre recherche, la modélisation prédictive à partir de la théorie de *Dempster-Shafer* et de la théorie de *Desert-Smarandache*, doit permettre de mettre en évidence les effets à court terme de la LGV PACA sur le territoire transfrontalier.

III Modélisation prédictive : quelles applications possibles aux enjeux transfrontaliers de la LGV PACA ?

Comme spécifié au début de la réflexion, « prédire » le devenir du territoire transfrontalier au lendemain de la mise en service de la LGV PACA,

exige au préalable de connaître son fonctionnement, c'est l'étape du diagnostic territorial. Les résultats du diagnostic ont permis d'acquérir des connaissances satisfaisantes sur l'organisation du territoire et justifient le choix des hypothèses suivantes.

3.1 Les hypothèses de la recherche

On suppose au départ de la modélisation prédictive que la future infrastructure grande vitesse aura des effets sur les formes de mobilité : mobilité résidentielle et mobilité récréative et sur l'accessibilité des territoires situés dans la zone transfrontalière. Concernant l'étape de la modélisation prédictive, pour chaque hypothèse émise, un niveau d'incertitude sera attribué afin de mesurer le degré de pertinence des sources à étayer les hypothèses.

Pour étayer ces hypothèses et conduire la modélisation prédictive, différentes données sont nécessaires.

3.2 Echelles spatiales

L'imbrication des territoires et son incidence sur la prospective territoriale amène à considérer différentes échelles spatiales. Au moins quatre échelles d'analyse ont été détectées : l'échelle locale qui concerne les territoires situés à proximité des frontières, c'est la zone transfrontalière elle-même. L'échelle régionale qui traite de la question des effets structurants du projet LGV PACA au niveau de la région. L'échelle nationale qui traite des relations entre la zone transfrontalière et les grands centres nationaux de décision et enfin l'échelle européenne qui aborde la question du transit marchandises se situe entre l'Italie la France et L'Espagne. Pour chaque échelle spatiale les enjeux sont différents ce qui crée des conflits d'enjeux territoriaux et rend complexe toute démarche prospective et ou prédictive.

La modélisation prédictive sera appliquée à l'échelle locale c'est-à-dire au niveau des communes situées à proximité de la frontière franco-italienne et franco-monégasque. Cette échelle est pertinente pour ce type de modélisation.

3.3 Données mobilisées

Les données mobilisées dans l'étape de la modélisation sont les suivantes :

- Données de type socio-économiques : population, emploi, flux et migrations, mobilité résidentielle, fréquentation touristique développement des entreprises, enquêtes ménages, enquêtes logements...

¹⁸ C'est-à-dire, la plausibilité que la vérité soit dans l'hypothèse A plutôt que dans l'hypothèse B)

¹⁹ C'est-à-dire la certitude que la vérité soit dans A plutôt que dans B.

²⁰ La fusion d'information consiste à combiner des informations issues de sources différentes afin d'améliorer la prise de décision [I.Bloch].

- Données de type spatiaux : les réseaux de transport, l'état du trafic, état de l'accessibilité des territoires, effets frontière...
- Données qualitatives : avis d'experts et estimations.

3.4 Traitements envisagés

Différents traitements sont envisagés dans l'étape de la modélisation prédictive. Parmi ceux-ci :

1. L'évolution de la population entre 1982 et 1999.
2. L'évolution possible de l'accessibilité des territoires frontaliers vers les grands pôles de décisions, régionaux, nationaux et européens à partir de la future gare TGV.
3. L'évolution possible de la mobilité résidentielle des populations.
4. Et enfin un dernier traitement sur la mobilité récréative. En effet la zone géographique étudiée est fortement touristique. L'amélioration de la fréquence touristique du fait de l'implantation de la gare TGV sera donc estimée.

3.5 Outils utilisés et formes de résultats et

L'outil SIG, la télédétection et les traitements géostatistiques restent les moyens les plus pertinents pour mettre en évidence les résultats attendus de la modélisation prédictive. Les Formes de résultats pour ces traitements seront de type cartographiques.

Conclusion

La prise en compte de l'incertitude à partir de la modélisation prédictive, est une piste de recherche intéressante pour l'analyse spatiale, qui a pour vocation, la compréhension des phénomènes qui entrent en interaction et structurent l'espace géographique.

L'analyse spatiale a aussi pour objectif de participer au devenir des territoires, en mettant à la disposition des acteurs et gestionnaires, des outils et des connaissances d'aides à la décision. C'est dans ce cadre que la thématique étudiée « les enjeux transfrontalier de la LGV PACA » se situe et cherche à offrir aux acteurs et gestionnaires, une vision globale des effets probables de la grande vitesse ferroviaire en vue de l'aide à la décision.

La prise en compte de l'incertitude à partir de la théorie des évidences de *Dempster-Shafer* et de *Dezert-Smarandache*, dans les étapes de la

modélisation est un moyen parmi d'autres de s'inscrire dans les objectifs du champ disciplinaire.

Bibliographie

- Bloch.I., Maître H., *Fusion de données en traitement d'images : modèles d'information et décisions*. Traitement du signal, vol. 6. 1994
- Corgne.S, *Modélisation prédictive de l'occupation des sol en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne*, thèse 2004, 230 pages
- Dezert.J , *Fondation pour une nouvelle théorie du raisonnement plausible et paradoxale. Application à la fusion d'information incertaines et conflictuelles*, Rapport technique, ONERA, 2003, 76 pages.
- PREDIT, *Choix d'investissement dans les projets de rupture technologique et forme organisationnelle*. CD-1996-2000
- Hatem.F, *La prospective : pratiques et méthodes*, Paris, Economica, 1993, 385 pages
- Shafer.G., *A mathematical Theory of Evidence*. Princeton University press, 1976
- Smarandache.F, Dezert.J, *Advances and applications of DSMT for information Fusion*, Collected works, Américan Research Press, Rehoboth, 2004, 418 pages.

ETUDE DE L'ORGANISATION DU COUVERT VEGETAL DES HAUTES CHAUMES DU FOREZ : UN EXEMPLE D'UTILISATION DE L'ALGORITHME PEGASE SUR LE SECTEUR TOURBEUX DE GOURGON-BAZANNE POUR L'ANNEE 1962

Pierre-Olivier Mazagol et Jérôme Porteret

Crenam – UMR 5600, Université Jean Monnet, Saint-Étienne

Terrain d'étude

- Le secteur d'étude de Gourgon - Bazanne se situe dans la partie centrale des Monts du Forez, où les Hautes Chaumes s'élargissent pour atteindre 9 kilomètres, leur largeur maximale (Etlicher 1990 ; Etlicher *et al.* 1993). À la limite des départements de la Loire et du Puy de Dôme, la zone sélectionnée s'inscrit dans un rectangle de 4.7 km (Est / Ouest) par 5.3 km (Nord / Sud) de côtés, entre 1000 et 1420 m. Centrée sur les édifices volcaniques de Roche Gourgon et Grande Pierre Bazanne, c'est là que naissent les principaux cours d'eaux qui drainent le massif en direction de la Loire. Les conditions climatiques montagnardes sont favorables au développement des tourbières. Elles occupent 202 hectares dans notre secteur d'étude et atteignent des profondeurs de 2.5 à 3 m. Ces écosystèmes présentent un intérêt majeur de par leur rôle hydrologique et leur potentiel paléo-environnemental (Porteret 2001 ; Cubizolle 2005). La tourbière de Gourgon, qui est l'une des plus anciennes tourbières du Massif Central (11000 ans), constitue aujourd'hui un site de référence dans le cadre du programme européen PEAT-BANK, dont l'objectif est de mettre en place un suivi scientifique des tourbières à l'échelle européenne. Ces zones humides se trouvent au cœur de terroirs pastoraux façonnés par l'homme au cours des siècles. Sur les Hautes Chaumes s'est mis en place un système agro-pastoral spécifique d'estive, avec pâturage et fauche, pour la transformation du lait (fabrication de fourme). Centré autour de la jasserie, bâtiment d'estive regroupant l'étable, le fenil et l'habitation, il a modifié les écoulements par la mise en place d'un réseau d'irrigation complexe et créé de vastes prés fertilisés, les fumades. Ce système a progressivement disparu au cours du XX^{ème} siècle, entraînant une modification de l'utilisation de l'espace montagnard. D'une part, les surfaces utilisées par l'agriculture se sont réduites, d'autre part, elles se sont intensifiées sur les parcelles les plus favorables. Le système d'estive s'est transformé avec la création de grands parcs de pâturage et l'abandon de l'utilisation des jasseries, provoquant l'arrêt de l'irrigation et de la fertilisation des fumades. Une grande partie des terrains abandonnés par l'agriculture est aujourd'hui boisée, en raison d'une dynamique de recolonisation forestière des landes, mais surtout du développement de l'activité sylvicole dans les années 70. La plantation de plus de 300 hectares de résineux dans notre secteur d'étude a contribué au doublement des surfaces occupées par la forêt depuis 1960. Depuis une vingtaine d'années, de nouvelles pratiques agricoles, comme les labours et semis de prairies artificielles, se développent, menaçant la diversité du milieu. Les objectifs de cette étude s'articulent donc autour de deux axes :
- savoir quelles sont les variables physiques et/ou anthropiques qui peuvent expliquer la localisation des tourbières pour mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes
- faire apparaître les clefs de l'organisation du paysage pour proposer des pistes de réflexion pour la gestion des Hautes Chaumes.

Nous présentons ici l'analyse de l'occupation du sol en 1962 comme état de référence avant les transformations de l'utilisation des Hautes Chaumes.

Aspect méthodologique

Nous avons choisi d'utiliser la procédure Pegase (Partition d'un Ensemble Géographique pour l'Analyse Spatiale Ecologique) mise au point par Michel Phipps, professeur émérite de l'université d'Ottawa (Phipps 1981, 2001, 2002). Cette dernière s'appuie sur la théorie des systèmes discrets ou distribués et la théorie de l'information, et cherche à mettre en oeuvre le concept d'ordre - ou organisation - dans un paysage et à en donner une mesure. L'algorithme permet ainsi d'estimer la contribution d'un certain nombre de variables (explicatives) à l'organisation d'un espace, caractérisée par l'occupation du sol (variable cible). La théorie de l'information constitue la base théorique de la recherche de l'organisation. Elle permet à la fois de mesurer l'information contenue dans un paysage (complexité), c'est-à-dire l'information perçue par l'observateur, et d'apprécier les

échanges d'informations entre écosystèmes (messages allant d'une unité spatiale à une autre) ou du milieu abiotique au milieu biotique (Baudry et Burel 1985). Cette notion d'information permet à la fois une étude quantitative et globale sans nécessiter une connaissance fine des mécanismes de fonctionnement du paysage.

Pegase a déjà été éprouvé dans de nombreuses études portant sur des problématiques variées (Phipps 1981 ; Phipps *et al.* 1986a, 1986b ; Dumanski *et al.* 1987 ; Davis et Dozier 1990 ; Phipps *et al.* 1994 ; Casado *et al.* 1997 ; Lundström-Gilliéron 1999 ; Ernoult *et al.* 2003 ; Lundström-Gilliéron et Schlaepfer 2003 ; Mazagol 2006 ; Mazagol et Porteret 2006). Dans le cadre de notre utilisation de Pegase, l'espace étudié est caractérisé par un système cellulaire. Chaque unité spatiale (chaque cellule) est caractérisée par des descripteurs biotiques, abiotiques ou autres qui lui sont associés. Pegase est donc un algorithme divisif, hiérarchique et multivarié, dans lequel l'ensemble des unités est divisé progressivement par étapes (paliers) en sous-ensembles significatifs. Au cours du processus, les sous-ensembles sont de mieux en mieux définis par les variables explicatives (divisives). Palier après palier, PEGASE détermine quelle(s) variable(s), parmi les variables explicatives à disposition, permet(tent) de réduire l'entropie initiale au maximum, cette dernière étant estimée selon la formule de Shannon. Le paysage est découpé en zones qui rassemblent les unités où cette variable divisive prend la même valeur (Terminal subsets : TSS). Pour chaque zone, on aura une probabilité différente d'être en présence d'une certaine valeur de la variable cible. On introduit donc une contrainte dans le paysage, crée un ordre et réduit le nombre de configurations possibles de la variable cible. Le processus est répété jusqu'à l'obtention d'une division de l'espace selon une combinaison particulière des variables explicatives, combinaison qui représente la réduction maximum du nombre de configurations possibles.

En fin de processus, on a donc réduit l'entropie du système au maximum, en fonction d'une série de différents critères. Cette différence entre entropie initiale et entropie finale est appelée négentropie.

Trois critères de divisions peuvent être utilisés pour mener à bien la procédure divisive : l'information mutuelle (permettant de mesurer le lien entre la variable cible et la variable explicative introduit comme contrainte), le rapport de signification (calculé à partir du critère de Kullback) et l'information relative (expression relative de la négentropie).

Différentes indications doivent être fournies au processus et notamment les critères d'arrêt du processus : entropie et effectif minimaux des TSS. Mais l'algorithme s'arrête également si aucune des variables explicatives n'exerce de contraintes suffisamment significatives.

En fin d'application de l'algorithme, différentes métriques sont fournies : l'**entropie initiale**, l'**entropie finale**, la **négentropie**, la **contribution** de chaque variable à la négentropie et la **spécificité** montrant dans quelle mesure la présence d'une classe dans un TSS exclut celle des autres classes. Nous disposons enfin d'une **cartographie de l'état prédit** simulée à partir d'une matrice de probabilités d'occurrences de chaque classe de la variable cible dans chaque TSS. Une **matrice de succès** est également disponible. Elle indique la probabilité qu'une unité appartenant à une classe de la variable cible soit prédite comme appartenant à une autre et montre de ce fait les probabilités de prédictions erronées.

Toutes les variables ont été intégrées au sein d'une base de données respectant une structure spécifique au logiciel Pegase. Pour ce faire, nous avons utilisé les outils XLpeg (Mazagol 2005) et Asc2Peg (Mazagol et Mayoud 2005) permettant l'automatisation de la création de bases de données de grande taille à partir de fichiers respectant le format d'échange ESRI ASCII Grid. Ainsi, tous les fichiers, quel que soit le logiciel utilisé pour le mettre en place, ont été exportés dans ce format. Les données sont de résolution 10 m. La base de données comprend une variable cible : « occupation du sol » et 21 variables explicatives (figure 2).

Résultats

Résultats généraux :

	1962
Entropie initiale	1,997
Entropie finale	0,283
Négentropie	1,714 (1,834)
Redondance	85,8% (91,8%)
Complexité	8,538 (9,21)

La redondance est de 85,8% (figure 1) : l'ensemble des contraintes exercées par les variables explicatives sélectionnées représente 85,8 % de l'entropie initiale. L'occupation du sol est très bien déterminée par les descripteurs sélectionnés. Il s'agit d'un score remarquable. Seul 14,2 % de la négentropie n'est expliquée par aucune des variables sélectionnées. Cela peut s'expliquer par l'absence de variables que nous n'aurions pas pris en compte ou tout simplement par le hasard.

Figure 10 : Résultats généraux de l'analyse Pegase

Les contributions :

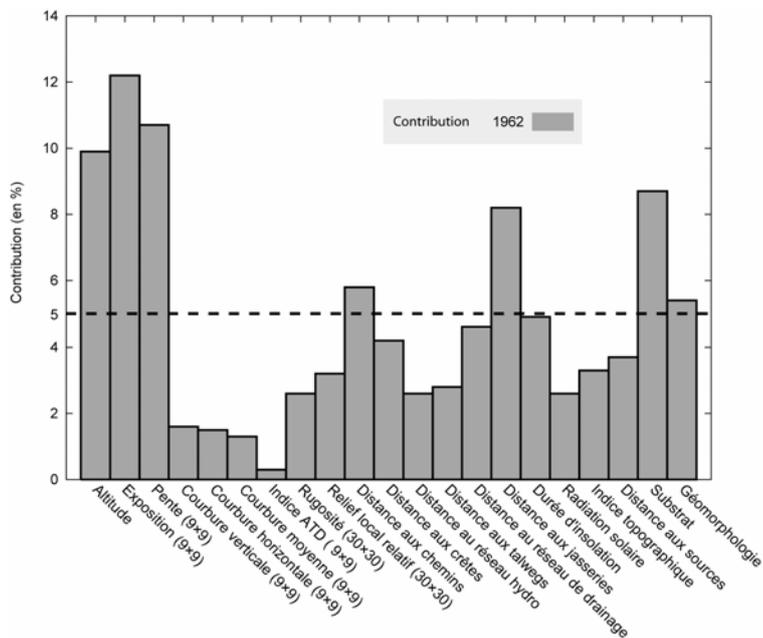


Figure 11 : Contribution des différentes variables explicatives

Différentes variables ont une influence que nous jugeons significative (dont la contribution est supérieure à 5 %) (figure 2). Il s'agit essentiellement de l'altitude, l'exposition, la pente, le substrat, la géomorphologie). Nous y ajoutons deux variables anthropiques : les distances aux chemins et aux jasseries. Cependant, il est important de s'interroger sur la signification réelle de ces deux variables. En effet, la localisation tant des jasseries que des chemins n'est pas le fruit du hasard et dépendent elles même fortement des conditions physiques. Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin.

Les spécificités :

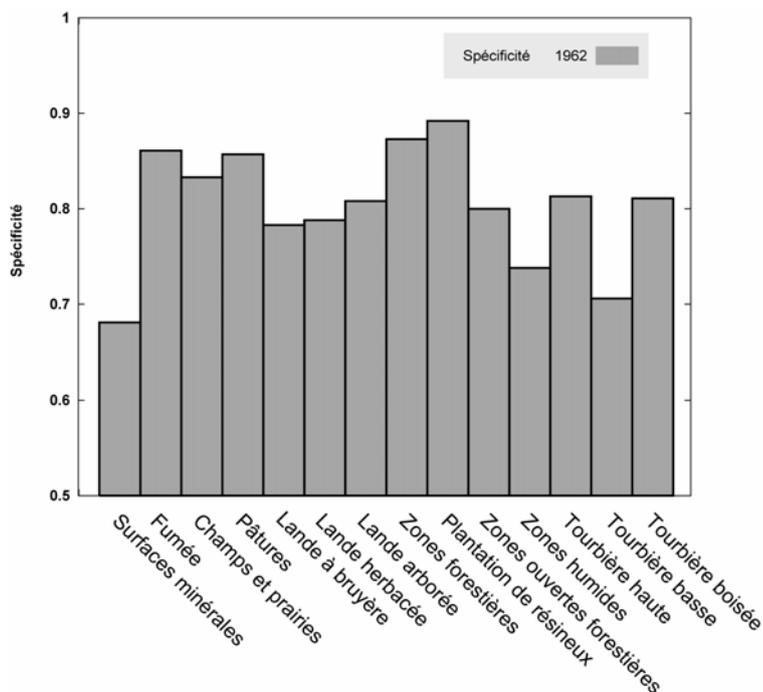


Figure 12 : Spécificité environnementale de chaque classe de la variable cible

Les spécificités (figure 3) correspondent à la dépendance plus ou moins importante des classes de l'occupation du sol vis-à-vis des combinaisons de variables cibles. Les classes à spécificité élevée sont fortement dépendantes de certaines conditions. Les autres sont plutôt ubiquistes. Dans notre cas, toutes les valeurs sont relativement élevées. Seules quelques classes possèdent des spécificités très inférieures à 0,8. Il s'agit soit de types d'occupation du sol qui traduisent des états de surfaces variés (surfaces minérales), soit de classes nécessitant des conditions locales que la précision de nos données ne permet pas d'exprimer (zones humides).

La matrice de succès :

Elle indique la probabilité qu'une unité appartenant effectivement à une classe de végétation soit prédite comme appartenant à cette classe.

V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30	28		20										
2		87												
3		17	68											
4				84										
5					88									
6				13	79									
7				11		76								
8							88							
9								81						
10			26				32		42					
11				16						63				
12											79			
13				11							19	58		
14														67

Figure 13 : Matrice de succès sans regroupement

V1 : Surfaces minérales ; V2 : Fumée ; V3 : Champs et prairies ; V4 : Pâtures ; VE5 : Lande à bruyère ; V6 : Lande herbacée ; V7 : Lande arborée ; V8 : Zones forestières ; V9 : Plantation de résineux ; V10 : Zones ouvertes forestières ; V11 : Zones humides ; V12 : Tourbière haute ; V13 : Tourbière basse ; V14 : Tourbière boisée

Elle montre également les probabilités de prédiction erronée (sachant qu'une unité appartient à une classe donnée, le programme l'associe faussement à une autre classe). Il est possible de procéder au sein de cette matrice à des regroupements de classes en fonction des liens existants entre ces dernières et de corriger les succès de prédictions au sein de chacun d'eux. On note deux types de confusions :

- les confusions intra-groupes synonymes de classes proches (par exemple, « surface minérale / champs labourés » ou une coupe à blanc (espace ouvert) au sein d'un complexe de résineux)
- les confusions inter-groupes qui peuvent avoir deux origines distinctes. Soit ces confusions sont liées à des ressemblances physiologiques au cours de la mise en place de la cartographie d'origine par photo-interprétation ou télédétection. Soit elles traduisent la mise en évidence de dynamiques spatiales au sein du terrain d'étude (certaines classes mutent et les combinaisons qui leurs sont associées sont proches de celles associées à d'autres classes)

Conclusion

Nous avons obtenu une bonne modélisation de l'organisation du terrain d'étude : 85.8% de cette dernière ont été soulevés par les variables sélectionnés. On note l'importance des variables physiques dans l'organisation du paysage. Cependant, il est nécessaire, à ce niveau, d'indiquer que nous sommes conscients de la nature fortement anthropisée du paysage des Hautes Chaumes. La prévalence de ces variables physiques doit donc être soumise à discussion. Deux raisons nous semblent pouvoir être avancées. Tout d'abord, la mise en place des activités anthropiques est inhérente aux conditions physiques du milieu considéré. Ainsi, il est possible que la contribution des variables anthropiques soit masquée par certaines variables physiques. En effet, d'autres utilisations de Pegase, sur la totalité des Hautes Chaumes, ont mis en avant l'importance de l'activité agropastorale (Mazagol 2006). Cette dernière est cependant trop homogène à l'échelle de plus petites zones telles que celle étudiée ci-dessus.

D'autre part, la mise en évidence de confusions, notamment entre types d'occupation du sol proches, permet d'initier une réflexion quant à la qualité de la cartographie de végétation et l'existence de dynamiques au

V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	78													
2		87												
3			85											
4				84										
5					88									
6						92								
7							87							
8								88						
9									81					
10				26						74				
11					16						63			
12												79		
13													77	
14														67

Figure 14 : Matrice de succès après regroupement : respectivement groupes « urbains et agricoles », « landes », « forêts », « zones humides »

sein du terrain d'étude. Cependant, ce dernier point devra être associé à une comparaison avec d'autres dates, telle que 2001 par exemple (Mazagol et Porteret 2006).

Enfin, il nous faut noter l'intérêt de l'utilisation de Pegase dans un contexte multiéchelle (Mazagol 2006). En effet, il apparaît qu'un certain nombre de variables explicatives écartées ici (dont la contribution est inférieure à 5%) peuvent agir à d'autres résolutions et à d'autres étendues. Ces deux points derniers feront prochainement l'objet d'un article.

Bibliographie

- Casado M. A., Ramirez-Sanz L., de Miguel J. M., de Pablo C. L.** (1997). An objective method for partitioning dendrograms based on entropy parameters. *Plant Ecology*. 131 ; 2. 193-197.
- Cubizolle H.** (2005). Paléoenvironnement et turfigénèse, l'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif Central oriental granitique. Habilitation à Diriger des Recherches. 750 p.
- Davis F. W., Dozier J.** (1990). Information analysis of a spatial data base for ecological land classification. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 56 ; 5. 605-613.
- Dumanski J., Phipps M., Huffman E.** (1987). A study of the relationships between soil survey data and agricultural land use using information theory. *Canadian Journal of Soil Sciences*. 67. 95-102.
- Ernoult A., Bureau F., Poudevigne I.** (2003). Patterns of organisation in changing landscapes : implications for the management of biodiversity. *Landscape Ecology*. 18 ; 3. 239-251.
- Etlicher B.** (1990). Le Forez : une montagne ? In **Université Jean Monnet** (Eds) *Les Monts du Forez : le milieu et les hommes*. 17-34.
- Etlicher B., Bessenay C., Couhert J.-P., Fauray O., Francez A.-J., Suchel J.-B., Thébaud G.** (1993). *Les Hautes Chaumes du Forez : Diagnostic écologique pour la gestion d'un espace sensible*. Publications de l'université de Saint-Etienne, 159 p.
- Lundström-Gilliéron C.** (1999). Modélisation de la dynamique du paysage : outil d'aide à la décision pour une gestion du territoire tenant compte de la faune. Etude de cas : le lièvre en Suisse. Thèse. GECOS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 156 p.
- Lundström-Gilliéron C., Schlaepfer R.** (2003). Hare abundance as an indicator for urbanisation and intensification of agriculture in Western Europe. *Ecological Modelling*. 168 ; 3. 283-301.
- Mazagol P.-O.** (2005). XLPEG : Outil de mise en place d'entêtes de bases de données Pegase.
- Mazagol P.-O.** (2006). Recherche de variables contribuant à l'organisation d'un paysage de moyenne montagne. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université Jean Monnet. 302 p.
- Mazagol P.-O., Mayoud R.** (2005). Asc2Peg : outil de construction de bases de données Pegase à partir de fichiers au format d'échange ESRI ASCII Grid.
- Mazagol P.-O., Porteret J.** (2006). Étude de l'organisation du couvert végétal des Hautes Chaumes du Forez : un exemple d'utilisation de l'algorithme Pegase sur le secteur tourbeux de Gourgon-Bazanne pour l'année 2001. *Colloque RTP "Paysage et environnement"*, Chilhac.
- Phipps M.** (1981). Entropy and community pattern analysis. *Journal of theoretical biology*. 93. 253-273.
- Phipps M.** (2001). Espace, entropie, environnement. *5èmes Rencontres de Théo Quant : Nouvelles approches en géographie théorique et quantitative*, Université de Franche-Comté, Besançon. 13.
- Phipps M.** (2002). PEGASE operation manual.
- Phipps M., Baudry J., Burel F.** (1986a). Ordre topo-écologique dans un paysage rural : les niches paysagiques. *Compte rendus de l'Académie des Sciences de Paris*. 302 ; série III. 691-696.
- Phipps M., Baudry J., Burel F.** (1986b). Dynamiques de l'organisation écologique d'un paysage rural : modalité de la désorganisation dans une zone péri-urbaine. *Compte rendus de l'Académie des Sciences de Paris*. 303 ; série III. 263-268.
- Phipps M., Langlois A., Jiang W.** (1994). Les marqueurs de l'identité ethno-linguistique dans les paysages ruraux: l'Ontario de l'est et le Pontiac (Québec). *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*. 38. 61-75.
- Porteret J.** (2001). Le rôle des sociétés humaines dans la mise en place et le développement des tourbières du Haut-Forez. Mémoire de Maîtrise. Université Jean Monnet. 181 p.

LES PRATIQUES DE L'ESPACE PASTORAL DANS LA LONGUE DUREE : MODELISATION DE PARCOURS DE TROUPEAUX DANS LA HAUTE MONTAGNE PYRENEENNE

Mélanie le Couédic

UMR 6173 CITERES – Laboratoire Archéologie et Territoires.

Des recherches archéologiques menées par Christine Rendu sur la montagne d'Enveig dans les Pyrénées ont permis la mise en place d'une chronotypologie des structures pastorales. La confrontation de ces données avec celles des disciplines paléoenvironnementales a permis de montrer les transformations des systèmes pastoraux sur la très longue durée, depuis 6000 ans. Dans un temps court, l'ethnologie a permis de comprendre les facteurs sociaux, économiques et techniques qui interviennent dans les changements des modes de gestion des pâturages (RENDU 2003).

Dans le sillage de ces recherches, cette recherche doctorale en cours consiste à étudier les pratiques pastorales de la haute montagne dans une perspective ethnoarchéologique et spatiale. Parallèlement à l'étude des données archéologiques (CALASTRENC, LE COUEDIC, RENDU à paraître), l'étude des pratiques actuelles peut servir de référentiel afin de comprendre et saisir l'organisation spatiale des parcours à l'échelle des quartiers d'estive et d'en comprendre les variations selon les systèmes d'élevage, ou encore selon les modes d'utilisation de l'espace, plus ou moins lâches.

On présentera d'abord la constitution du référentiel actuel de parcours de troupeaux, son intégration au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG) et la modélisation des données afférente. Enfin, les premières analyses spatiales permettant de dégager des déterminants des territoires de parcours et de comprendre leurs relations seront présentées.

I. Problématiques et modélisation des données

Dans le cadre du Programme Collectif de Recherche *Dynamiques sociales, spatiales et environnementales dans les Pyrénées de l'est*, coordonné par Christine Rendu et Didier Galop, je dispose de nombreuses données sur les troupeaux de la zone centrale du Parc National des Pyrénées par convention avec cet organisme : données pastorales (territoires de dépaissance de 495 troupeaux à l'estive) et planimétriques (BD Ortho, carte de végétation, modèle Numérique de terrain, Scan 25). Il s'agit, sur ce référentiel actuel, d'identifier les déterminants physiques et sociaux des parcours de troupeaux, pour, à terme, construire des modèles spatiaux. Avec pour hypothèse de départ la variation des parcours dans l'espace selon les systèmes pastoraux, on peut se demander notamment dans quelle mesure les parcours déterminent la localisation des cabanes de bergers, les partages de l'espace pastoral, et inversement, s'interroger sur ce qui détermine la forme et l'emprise des parcours.

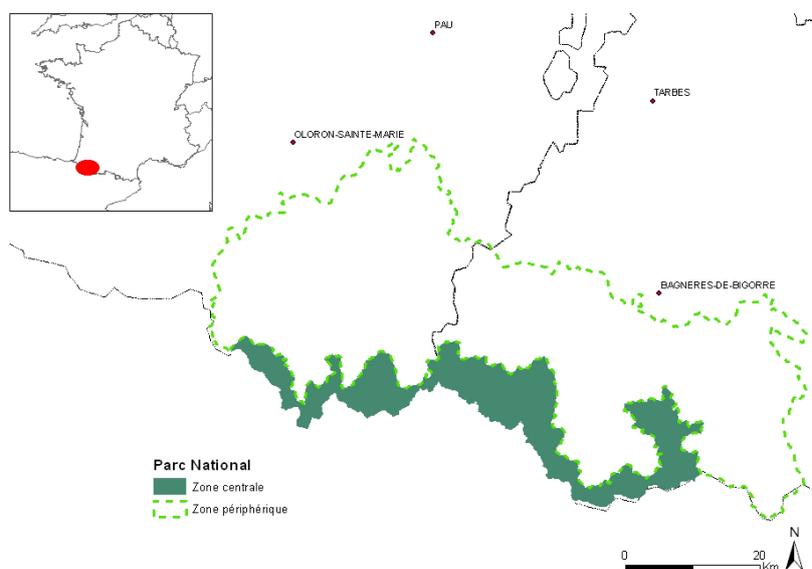


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

Ces données et ces problématiques ont amené à la construction d'un Modèle Conceptuel de données selon la méthode de modélisation hypergraphique HBDS (Hypergraph Databased Structure).

Il s'agit d'expliciter les multiples facteurs qui rentrent en compte dans la formation des parcours de troupeaux, d'analyser leur incidence spatiale et les relations qu'ils entretiennent, d'identifier les données à acquérir (SAINT-GÉRARD 2005). Ceci a nécessité la décomposition du problème en sous-systèmes et une réflexion sur les liens existant entre et à l'intérieur de ces phénomènes.

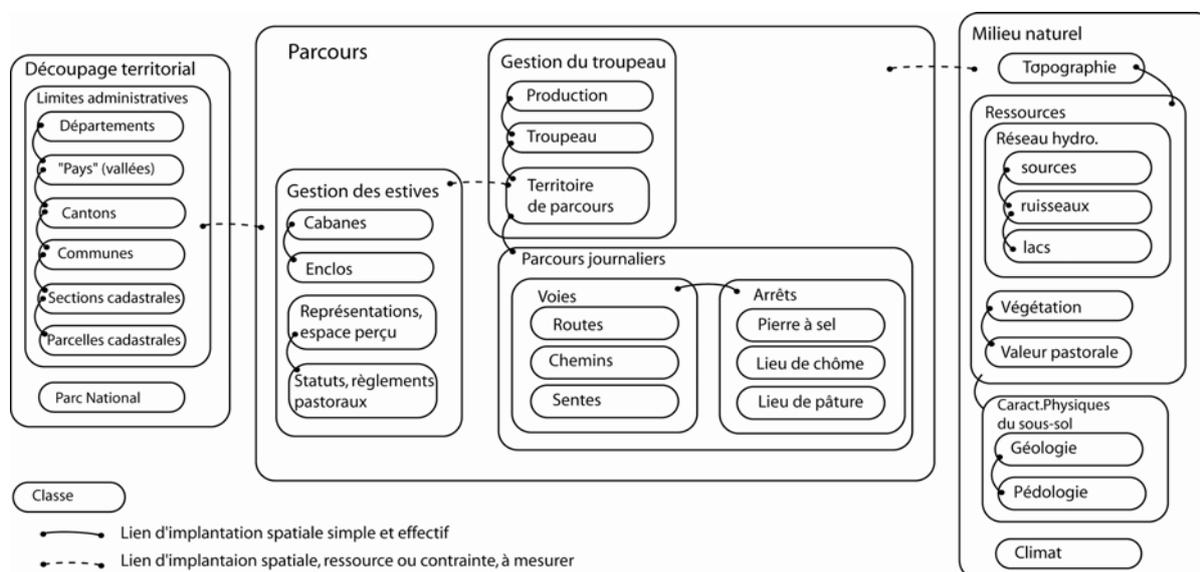


Fig. 2 : Modèle Conceptuel de Données

Les *parcours de troupeaux* se trouvent au centre du modèle. Le concept de parcours est assez vague. Plutôt qu'un type de milieu, ou un déplacement, il correspond ici à un mode d'usage. Il se définit par des cheminements journaliers du bétail, qui constituent au fil de l'estivage des territoires de parcours. Ils sont liés aux choix (type de bêtes, nombre, mode de garde) opérés par les éleveurs en vue d'une certaine production (laitière ou à viande). Ces parcours sont fortement liés à la gestion des estives ; les cadres normatifs qui réglementent l'utilisation de ces pâturages d'altitude sont variés et ces territoires peuvent recouvrir différents statuts (communaux, syndicaux, privés...). De même, les structures pastorales - cabanes de bergers et enclos, jouent un grand rôle dans l'utilisation et les partages de l'espace. Ces parcours de troupeaux sont inscrits dans un cadre administratif - le *découpage territorial et foncier*, et sont étroitement liés au *milieu naturel*, envisagé tour à tour comme une contrainte ou comme une ressource.

Ce modèle, qui n'est pas figé mais au contraire amené à évoluer au cours de la recherche, est en cours d'implémentation sous forme de géodatabase sous ArcGis-ArcEditor. Une géodatabase présente plusieurs intérêts ; c'est une base de données intégrée au SIG, elle permet de définir des comportements, des propriétés, des relations et des règles topologiques. Ainsi, elle permet d'avoir des relations « en dur » entre les couches.

Pour l'instant, seule la classe « gestion du troupeau » a été implémentée dans la géodatabase. Les territoires de parcours correspondent à un ou plusieurs troupeaux qui pâturent ensemble pendant une même période sur un même territoire ; ils changent, se recomposent au fil de l'été. Cette formalisation permet de prendre en compte leur dynamique spatio-temporelle (fig 3.) : le temps est un attribut du lien entre les deux objets. De plus, un même lieu peut être utilisé par plusieurs troupeaux distincts ; ces territoires se chevauchent, se superposent. Les « unités troupeaux » ont été décomposés en objets spatiaux auxquels sont rattachés les attributs sémantiques, de manière à résoudre le problème de redondance spatiale en constituant une partition stricte de l'espace.

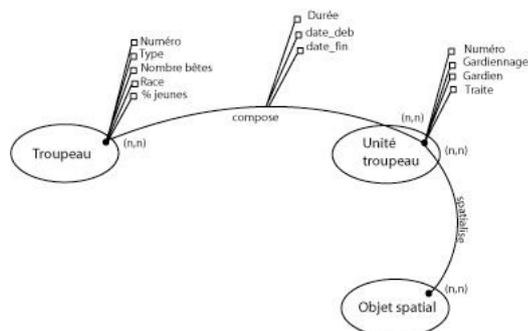


Fig 3 : Schéma Conceptuel de Données des territoires de parcours

II. Du territoire de parcours aux relations entre territoires

1. Forme et relief

La question de la morphologie des territoires pastoraux est intéressante ; leurs formes très particulières, irrégulières attirent le regard et tranchent par rapport à des territoires plus classiques tels que le cadastre. Il semble alors important de les caractériser une à une et d'en comprendre les variations. Cependant, la forme est assez difficile à mesurer. Les mesures de base, aire et périmètre, sont les plus simples à calculer. Fortement corrélées, ces deux valeurs de base ne permettent pas de discriminer morphologiquement les différentes entités surfaciques

Pour aller plus loin, on s'est inspiré d'une approche entreprise par le LAT, à Tours, pour l'étude du maillage paroissial (CHAREILLE, RODIER, ZADORA-RIO 2004), dans laquelle les auteurs utilisent des d'indices élaborés pour décrire avec précision la forme de lignes fermées. L'une des mesures plus utilisées dans le calcul des indices de forme est la longueur du plus grand axe (*i.e.* distance entre les deux points les plus éloignés d'un polygone). Pour obtenir cette mesure indispensable, une procédure a été mise au point par X. Rodier ; elle débute par la création d'un TIN* (Triangulated Irregular network) à partir des polygones pour en extraire les nœuds (*Ibid.*: 326). Elle nécessite donc une partition stricte de l'espace, soit des polygones qui ne se superposent pas. Les territoires de parcours ont donc été décomposés en 13 couches sans superposition afin de calculer la longueur du plus grand axe puis l'indice de forme. On observe notamment une différence significative de forme des territoires des vaches et des moutons : les premiers sont plus étirés, allongés, que les seconds.

Pourquoi les parcours de moutons seraient plus circulaires et les parcours des vaches plus étirés ? Pour comprendre cela, il faut se tourner vers le relief. Il est admis par les pastoralistes que les bovins se limitent aux zones accessibles alors qu'ovins et caprins montent plus haut. Alors, les parcours des vaches sont plutôt dans les fonds de vallée, tandis que les moutons pâturent plus en altitude, plutôt sur les plas ou dans des cirques. Ici plus qu'ailleurs, il semble primordial d'évaluer la part du relief dans la formation de ces territoires de dépaissance. Pour mesurer de manière systématique cette dépendance, on peut d'abord utiliser la fonction « statistiques zonales » de *spatial Analyst*, pour obtenir à partir du MNT en entrée, une valeur moyenne de l'altitude et de la pente pour chaque territoire de parcours.

Au-delà de cette valeur moyenne, il semblait pertinent d'évaluer de l'influence des formes du terrain, notamment les crêtes, sur la délimitation des territoires. La commande VIP (Very Important Point) exécutable à partir de Arc Info Workstation, permet d'étudier ces formes du terrain. Il apparaît que près du tiers des limites de ces territoires suivent les sommets. Dans ce cas, la plupart du temps, les limites sont contiguës et ne se chevauchent pas. En revanche, les zones où le relief s'adoucit sont l'occasion de nombreuses superpositions de territoires.

2. Relation entre territoires de parcours

Ces zones de superposition sont particulièrement intéressantes ; elles présentent des territoires mouvants aux limites floues et, peut être, à travers l'estivage, un rapport spécifique à l'espace. Le thème des limites et de la superposition des territoires demande de reculer la focale pour ne plus considérer chaque forme l'une après l'autre, mais examiner leurs relations.

Tout d'abord, la décomposition des territoires de parcours en « objet spatiaux » a été l'occasion de rapporter à ces polygones l'occurrence de leur utilisation. On observe que certaines portions d'espace concentrent jusqu'à neuf territoires. Outre ce recouvrement « exact », on observe de nombreux croisements de polygones. Identifiés séparément pour les territoires bovins et ovins, ces chevauchements de territoires interrogent. Ils pourraient correspondre à des différences de pression pastorale : ainsi, les troupeaux laitiers sont gardés et demandent plus d'énergie. Les éleveurs qui font du fromage se répartiraient l'espace « au millimètre ». En revanche, en contexte de déprise ou de troupeaux à viande, les animaux se mélangent, se croisent car les ressources sont moins exploitées. Ils peuvent se concentrer sur les secteurs plus favorables. Cette hypothèse selon laquelle « plus il y a de pression, plus l'espace est cloisonné » se vérifie en général à l'échelle du Parc National, avec une progression en ce sens de l'est à l'ouest, de la Bigorre au Béarn.

Dans le détail, cette division est à nuancer. À plus grande échelle, si l'on s'attache par exemple aux territoires des moutons, on observe des territoires superposés dans la partie occidentale de la Vallée d'Aspe, tandis qu'à l'est, les territoires sont nettement délimités et contigus.

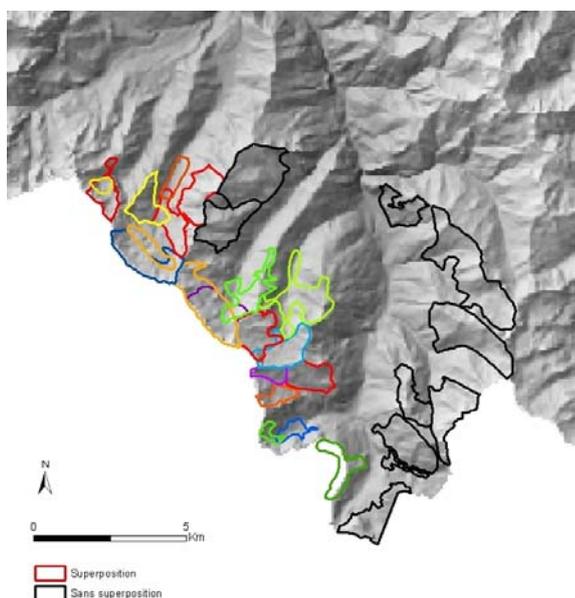


Fig. 4 : Territoires de parcours ovins en vallée d'Aspe

On approche ici, en filigrane, la question de la gestion des estives. Il semble a priori difficile de dépasser l'observation de ces cas tranchés sans une connaissance du statut des terres, des règles d'attribution des estives, des éleveurs et des moyens de gestion. Seule l'enquête de terrain a permis d'expliquer, pour une part, ces espaces de compascuité. Ces estives sont toutes gérées par les communes, mais de façon différente. À l'est, les cabanes et les pâturages attenants sont en location à des bergers « étrangers ». Hormis un territoire au sud, les bergers respectent des territoires aux limites nettes. À l'ouest, l'attribution des estives est en général réservée aux habitants des communes. La cabane n'est pas louée mais attribuée de droit, et le pâturage est payé par tête de bétail. Les superpositions de territoires recouvrent alors plusieurs cas de figure : espace de compascuité reconnu comme tel dans les règlements, espace partagé de façon tacite depuis une cabane par plusieurs troupeaux, ou encore zone de pâturage conflictuelle.

Conclusion

Le Modèle Conceptuel de données jette les bases d'une méthode de travail pour étudier cet objet géographique complexe, déformable et mobile dans l'espace et dans le temps. En cours de construction, le modèle doit être alimenté et expérimenté avec des exemples concrets.

Les premières analyses réalisées sur les parcours permettent d'entrevoir le rôle de facteurs environnementaux, principalement la topographie, dans la formation de ces territoires. Si l'influence de la végétation, l'hydrographie ou la géologie reste à évaluer, le milieu naturel n'est sans doute pas le seul déterminant des parcours de troupeaux. Le passage de leur forme intrinsèque à leurs relations présente des partages de l'espace variés ; de même, la relation des cabanes aux territoires attenants reste à explorer. Pour cela, la confrontation des cartes au terrain, dans le cadre d'une démarche dialectique, est nécessaire.

Bibliographie

CALASTRENC, LE COUEDIC, RENDU *à paraître*

Calastrenc C., Le Couédic M. et Rendu C. - Premiers résultats d'archéologie pastorale en haute vallée d'Ossau, *Archéologie des Pyrénées occidentales et des Landes*.

CHAREILLE, RODIER, ZADORA-RIO 2004

Chareille P., Rodier X., Zadora-Rio É. - Analyse des transformations du maillage paroissial et communal en Touraine à l'aide d'un SIG, *Système d'Information Géographique, Archéologie et Histoire, Histoire & Mesure*, 19, 3/4 : 317-344.

RENDU 2003

Rendu C. - *La montagne d'Enveig, une estive pyrénéenne dans la longue durée*, Canet, 606 p.

SAINT-GÉRAND 2005

Saint-Gérard T. - Comprendre pour mesurer...ou mesurer pour comprendre ? HBDS pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, *in* : Guermond Y. - *Modélisations en géographie: déterminismes et complexités*, Paris, : 261-297.

MODELISATION MULTISCALEAIRE DE PHENOMENES SPATIAUX : OPTIMISATION D'ECHELLES D'ANALYSE ET TYPOLOGIES EMBOITEES DANS LE CONTEXTE D'UN RISQUE EPIDEMIOLOGIQUE.

Florian Tolle

UMR 6049 - Théoriser et Modéliser pour Aménager - Besançon (post-doc)

Echinococcus multilocularis est un parasite responsable chez l'homme d'une maladie grave : l'échinococcose alvéolaire. Les œufs du parasite, agent pathogène, sont présents dans les fèces de renard et peuvent survivre plusieurs mois dans l'environnement. La dispersion du parasite est fonction des besoins et de l'utilisation de l'espace des campagnols, hôtes intermédiaires, et des renards, hôtes définitifs. La manière dont ces derniers appréhendent leurs domaines vitaux est liée au paysage et aux disponibilités en habitat et en nourriture qu'il recèle. Le risque épidémiologique lié à la maladie a conduit, en France et en Europe, à la mise en place de programmes d'épidémiologie. Ils ont permis de collecter des échantillons géoréférencés dont la contamination éventuelle a été testée. Cette base de données a servi au développement sur SIG d'un protocole de recherche de descripteurs paysagers présumés indicateurs du potentiel de risque. La dimension spatiale des spécificités du cycle parasitaire d'*Echinococcus multilocularis* a été abordée sous l'angle du paysage et de ses aspects structurels et fonctionnels. L'hypothèse est ici celle du rôle du contexte paysager sur la présence et les interactions entre les hôtes. Selon cette hypothèse, il serait possible d'identifier des paysages à risques dans la persistance du cycle parasitaire et dans la transmission d'*Echinococcus multilocularis* à l'homme et aux hôtes.

L'analyse exploratoire des interactions présumées entre le paysage et *Echinococcus multilocularis* nous ont amené à nous poser plusieurs questions. Tout d'abord, à quelle échelle convient-il d'aborder les données paysagères liées à un phénomène épidémiologique ? Ensuite, comment déterminer les variables paysagères les plus aptes à expliquer le ou les processus écologiques ? Enfin, dans quelle mesure la variabilité spatiale des paysages doit-elle être intégrée dans la recherche de facteurs de risque ?

La mise en relation de données ponctuelles (présence/absence, continues...) et de variables environnementales (paysagères, climatiques...) pose la question de l'échelle d'acquisition de ces dernières. Dans le cadre d'un programme de veille sanitaire portant sur le parasite responsable de l'échinococcose alvéolaire, nous avons mis en oeuvre deux méthodes d'optimisation scalaire appliquées au département du Doubs et à l'espace français.

Dans le Doubs tout d'abord, nous avons cherché à ouvrir le plus largement possible les champs de la description ouverts par l'écologie du paysage. Dans une zone connue comme endémique pour *Echinococcus multilocularis*, nous avons abordé l'échelle des paysages en cherchant à maximiser l'hétérogénéité locale des paysages autour des échantillons en fonction de leur statut épidémiologique. Cette étape nous a conduit à déterminer trois échelles locales emboîtées qui ont été retenues pour appréhender les processus parasitaires du département. Pour chacune de ces échelles, une analyse en régression logistique binaire a permis l'identification d'indices paysagers associés aux zones présentant des échantillons positifs. La qualité des modèles prédictifs générés a été testée par la méthode des courbes ROC et de l'aire sous la courbe (AUC). La représentation cartographique des facteurs paysagers présumés à risque a conduit à identifier des zones potentiellement favorables à l'établissement du cycle parasitaire sur l'ensemble du territoire du Doubs (fig. 1). L'association de ces zones à risques avec les densités de population humaine rurale et périurbaine a permis de donner une première estimation de la vulnérabilité humaine attendue et des risques de présence conjointe de l'agent pathogène et des hommes.

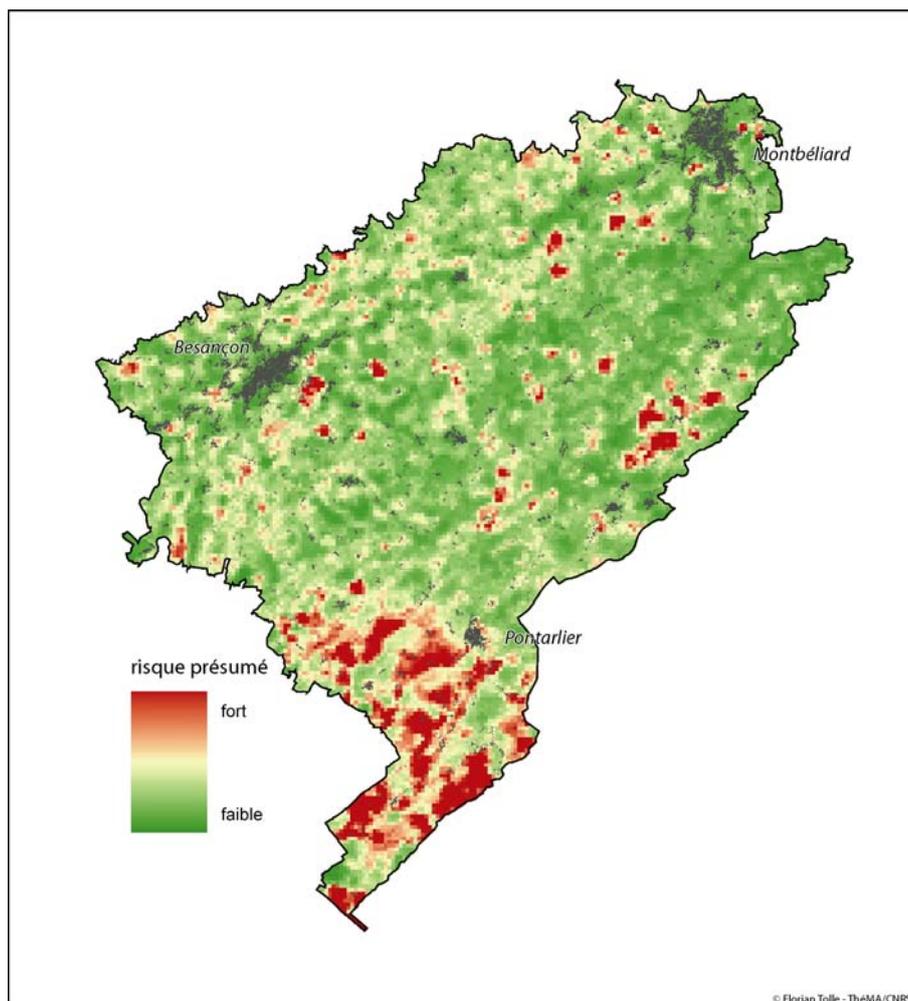


Figure 1 : Synthèse multiscalaire des indices de risque de présence parasitaire dans le département du Doubs.

Pour l'ensemble français, les nuées dynamiques floues ont été utilisées pour le choix de niveaux d'échelle pertinents et pour la sélection d'un nombre de classes optimal. Une typologie des paysages environnant les échantillons collectés a été réalisée à un premier niveau d'échelle. La répartition homogène des échantillons positifs dans les différents types paysagers nous a conduit à définir un second niveau d'échelle, plus local, pour les quatre types les plus représentés. La prévalence de chaque type paysager ainsi défini a été calculée et ordonnée selon un gradient de risque présumé croissant. Les types paysagers, définis ponctuellement dans l'environnement des points de données, ont été généralisés à l'ensemble de l'espace de manière à obtenir une représentation continue de la présence de ces types dans l'espace français. Les paysages ont été représentés en fonction de leur susceptibilité présumée à accueillir le cycle parasitaire. Cette approche visait à détecter d'éventuels contextes de prédilection pour l'établissement du cycle parasitaire. Au final, elle a révélé la grande diversité des zones contaminées. Les prévalences constatées dans chacun des types paysagers ne se sont pas pour autant avérées homogènes. La représentation ordonnée de ces disparités a abouti à une cartographie des paysages présumés à risque sur l'espace français (fig. 2). Le résultat offre une lecture des paysages où le parasite a été identifié le plus fréquemment, mais aussi une estimation du potentiel des paysages de zones où aucune données sur le parasite ne sont encore disponibles.

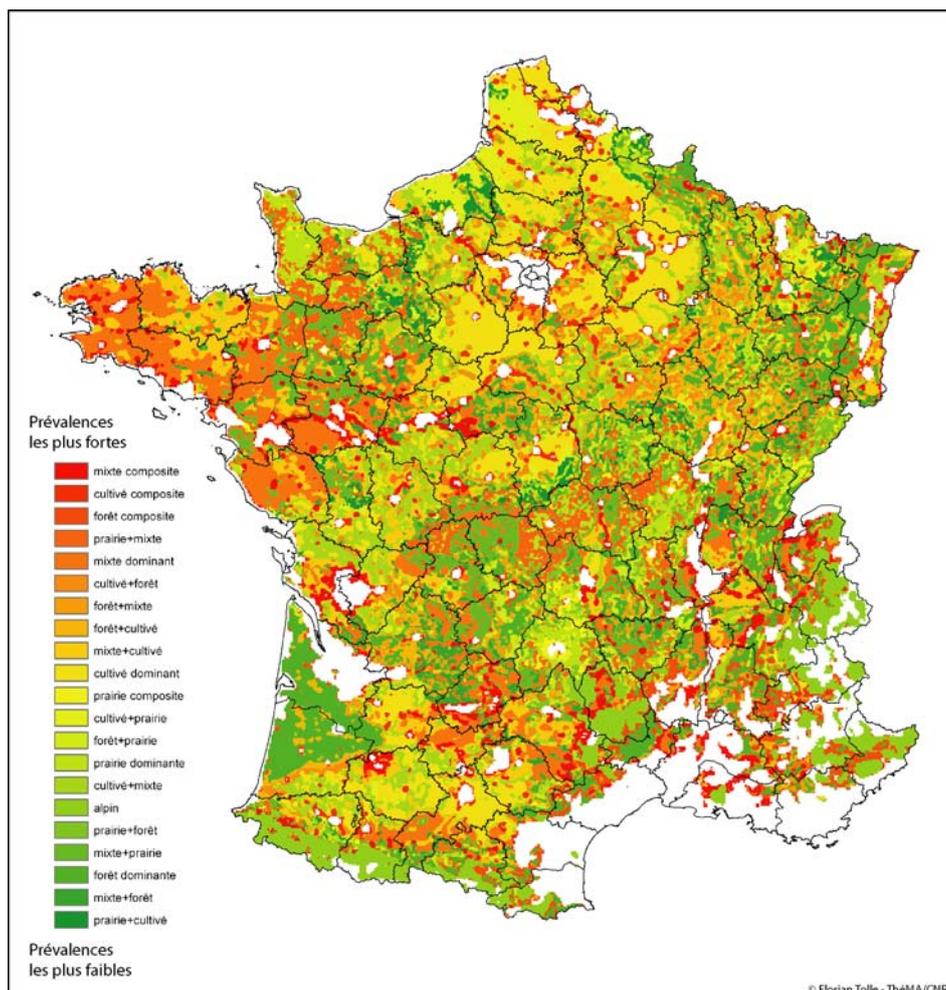


Figure 2 : Typologie des paysages et gradient de présence parasitaire présumée à l'échelle de la France.

Ces travaux ont permis de déterminer les liens présumés entre présence parasitaire et paysage. Ils ont, pour l'essentiel, porté sur la détermination d'espaces potentiellement favorables au parasite et à la survie de ses œufs, agent pathogène de la maladie. Ces résultats montrent les possibilités offertes par les outils de l'analyse spatiale et de la modélisation multiscalaire dans les problématiques de risque sanitaire.

Mots-clés : Paysage, risque sanitaire, écologie du paysage, épidémiologie, *Echinococcus multilocularis*, échinococcose alvéolaire.

Outils : SIG, indices d'écologie du paysage, maximisation de l'hétérogénéité, régression logistique binaire, courbes ROC, nuées dynamiques floues.

LE CADASTRE SARDE : UNE BASE DE DONNEES TERRITORIALES ET PATRIMONIALES TEMOIN DE LA PHYSIONOMIE DES PAYSAGES ALPIN DU 18^{EME} SIECLE

Dominique Baud

Doctorante, laboratoire EDYTEM
Université de Savoie

Introduction

Pour la première fois en Europe au début du 18^{ème} siècle, une cadastration « moderne » (c'est-à-dire des plans accompagnés de registres parcellaires) était réalisée sur l'étendue du Duché de Savoie. A cette époque Victor Amédée II règne sur la Savoie, la Haute-Savoie, la Vallée d'Aoste et le Piémont actuels. Dans le but de répartir également l'impôt, il ordonne une entreprise gigantesque : mesurer et cadastrer les quelque 4 millions de parcelles que possèdent ses sujets. Le résultat ? Un objet patrimonial unique : la carte, et une base de données territoriales et patrimoniales grâce aux registres parcellaires qui l'accompagnent.

Devant une telle source d'informations, l'idée est venue de créer une méthode afin d'étudier ces données vieilles de près de 300 ans d'un point de vue patrimonial et paysager. Le cadastre sarde reconnu à juste titre pour sa valeur patrimoniale permet d'autre recherche que celle de l'histoire de la propriété foncière. Il est également le témoin de la physionomie des paysages montagnards alpins du 18^{ème} siècle qui ont aidé à aboutir aux ressources patrimoniales dans lesquelles nous puisons aujourd'hui. Cette archive ouvre les portes d'une reconstitution évolutive du paysage de la montagne alpine, notamment à l'aide d'autres cadastres qui jalonnent les territoires de l'Ancien Duché (cadastre français et cadastres napoléonien et Rabbini pour le Piémont).

Pour mieux comprendre l'étendue des applications géographiques que l'on peut obtenir grâce à cette ancienne base de données, il faut s'intéresser à l'objet « cadastre sarde » : son contexte, sa conception originale et innovante pour l'époque et les renseignements qu'il contient. Une approche diachronique permet ensuite l'analyse spatiale à micro-échelle de l'occupation du sol de la montagne alpine du 18^{ème} siècle à aujourd'hui, notamment à l'aide d'outil comme les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). L'examen des données dans un SIG va permettre une meilleure compréhension de l'évolution de l'usage du sol depuis 300 ans et l'identification de la ressource patrimoniale qu'est le paysage alpin.

1. Description d'un objet patrimonial unique : le cadastre sarde.

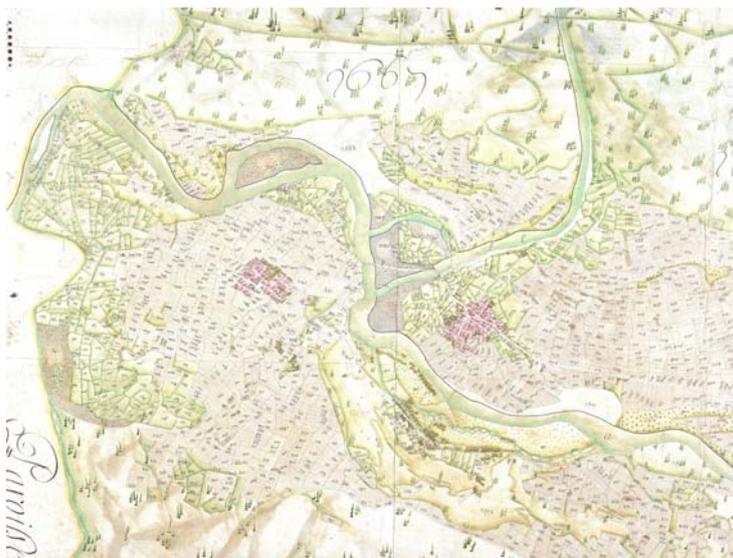
La notion de cadastre, quel que soit le lieu où l'époque est toujours liée à la possession du sol et à ses modalités d'occupation. On désigne donc sous ce nom les documents (plans et registres) servant à la répartition de l'impôt en prenant pour base la propriété (BRUCHET, 1988).

Au 18^{ème} siècle, tous les rois d'Europe souhaitent améliorer leur système fiscal et réduire les exemptions dont bénéficient la noblesse et le clergé. Victor Amédée II, las de ne voir dans ses provinces que « désordre, confusion et oppression des pauvres », ordonne la réalisation du cadastre en Savoie par lettres patentes du 9 avril 1728. Dès lors, une série de textes détaillés prévoit un plan ambitieux. Le cadastre devra fournir tout à la fois la superficie de chaque communauté, l'étendue des biens communaux et de toutes les propriétés individuelles dûment numérotées, les différents types de cultures et la valeur de chaque parcelle. Les terres se verront attribuer un degré de bonté (0, 1, 2, 3) selon qu'il s'agisse de terres riches ou incultes (MUSEE SAVOISIEN, 1981).

Lorsque que le roi ordonne cette mensuration, celle du Piémont est pratiquement terminée : les techniques matérielles sont donc connues. Il faudra seulement dix ans à l'établissement du cadastre en Savoie (1728-1738) contre trente trois pour le Piémont (1698-1731). Cette rapidité est également due aux vingt « escadres » se composant chacune de six équipes de trois hommes : un géomètre, un mesureur et un estimateur d'office, qui travaillent en même temps sur l'ensemble du territoire (soit environ 640 communes).

Sur le terrain, le géomètre trace un plan rapide où figurent les cours d'eau, les chemins et les parcelles. Le territoire communal est divisé en sections ce qui permet de dessiner les « planchettes ». Celles-ci une fois juxtaposées, constitueront la mappe (le plan) à l'échelle du 1/2400. Sur le « livre des numéros suivis du géomètre » (un des registres cadastrales), le géomètre inscrit les numéros relatifs à la mappe, le nom des possesseurs, leur présence ou non lors des mesures, s'ils payent la taille ou s'ils en sont exempts et la situation des biens. Sur la mappe, qui est très détaillée, apparaissent les parcelles avec leurs numéros, les maisons, les cours d'eau et artistement dessiné à la plume les champs cultivables, les pâtures, les vignes, les masures mais également le moindre châtaigner dans un pré (document n°1).

Document n°1 : Extrait de la mappe de Sollières-Sardières, Haute-Maurienne, Savoie. Archives départementales de Savoie.



Le cadastre sarde n'est peut-être pas le « miracle de géométrie » dont on a parlé parfois. Il est cependant un document étonnement moderne. Le cadastre était à l'époque une opération techniquement et matériellement progressiste. Ce document a marqué un tournant : la fin du Moyen Age et le début de l'ère de la description exacte, géométrique (GUICHONNET, 1955).

Pour notre étude, l'ensemble des registres cadastraux attachés à la mappe ne sont pas tous utiles. En effet, nous exploitons essentiellement les données des livres de numéros suivis du géomètre et de l'estimateur (appelés ainsi car ils énumèrent les parcelles dans l'ordre des numéros qui figurent sur le plan), et celles de la table générale qui est la matrice cadastrale classée par ordre alphabétique des propriétaires. Les renseignements que contiennent les autres livres concernent les calculs, les mutations foncières et les réclamations des propriétaires par rapport à la mensuration.

Les informations prises en compte pour notre travail sont donc : les noms des propriétaires des parcelles, les noms et délimitations des mas (quartiers), la nature des cultures, la valeur de la terre (degré de bonté), les formes, les surfaces et les positions des parcelles. Comment cette base de données territoriales et patrimoniales peut-elle permettre une analyse spatiale des territoires de la montagne alpine ?

2. Mise en œuvre d'une analyse spatiale du paysage de la montagne alpine...

Pour réaliser cette étude différents territoires possédant tous des archives cadastrales et appartenant au milieu montagnard des Alpes du nord, ont été choisis. Ils ont en commun une transformation économique rapide, due au développement du tourisme et de l'urbanisation, qui a entraîné une diminution des activités agricoles. Ce changement d'économie locale a modifié la physionomie de ces paysages montagnards. Chaque terrain a une spécificité qui permet d'utiliser et d'interpréter les archives cadastrales :

- communes des vallées d'Abondance et d'Aulps, Haute-Savoie : analyse des thématiques de la gestion de la forêt et des vergers ;
- communes du canton d'Aime, Savoie : analyse de l'organisation foncière et de la mutation des propriétés viticoles ;
- communes de Haute-Maurienne, Savoie : analyse de l'organisation des alpages ;
- communes de la communauté de montagne « Pinerolese Pedemontano », Piémont : analyse de la transformation des rapports ville/campagne.

Afin d'obtenir une analyse spatiale cohérente, la méthodologie est adoptée pour chaque terrain et réitérée pour chaque type de cadastre. L'idée est de croiser sur chaque territoire d'étude les données et les plans du cadastre sarde (18^{ème} siècle), du cadastre français (fin 19^{ème} siècle) et du cadastre actuel à l'aide d'un SIG.

La première étape est le dépouillement des registres cadastraux aux Archives départementales ou dans les mairies (BARBERO, 2001), (LATTA, 2001). Les données sont relevées et consignées sous Excel pour être importées ensuite dans le logiciel SIG ArcView 9.1. Vu l'abondance des informations contenues dans ces registres, il faut faire le tri afin de conserver seulement celles utiles à une reconstitution évolutive de l'usage du sol. Sur le document n°2, on peut voir un extrait des informations relevées pour l'alpage de l'Erellaz, commune de Sollières-Sardières, comprenant le numéro de la parcelle, le nom de son propriétaire, sa nature, sa situation, son degré de bonté, si le propriétaire était présent ou absent le jour de la mensuration et s'il paye la taille. Le grand nombre de parcelles, même sur des petites portions de territoire, ainsi que l'écriture des registres en vieux français rend la conception de la base de données longue et fastidieuse.

Document n°2 : Extrait du relevé des parcelles de l'alpage de l'Erellaz, commune de Sollières-Sardières.

Numéros	Propriétaire	Nature	Mas, Lieu dit	DB P/Abs	Taille
1371	Mestrallet Jean Claude maigre	Pré en pente	Mas à la Porteille en montagne	1 A	paye
1372	Mestrallet Françoise, veuve à Jean Vernay	Pré en pente	Mas à la Porteille en montagne	1	paye
1373	Mestrallet Jean Claude maigre	Pré en pente	Mas à la Porteille en montagne	1 A	paye
1374	Crosat Jean feu Jean Baptiste	Pré en pente	Mas à la Porteille en montagne	3	paye
1375	Mestrallet Jean Claude maigre	Grange	Mas à la Porteille en montagne	1 A	paye
1376	Mestrallet Françoise, veuve à Jean Vernay	Maison et Grange en pente	Mas à la Porteille en montagne	2	paye
1377	Mestrallet Jean Claude maigre	Maison	Mas à la Porteille en montagne	1 A	paye
1378	Crosat Jean feu Jean Baptiste	Maison en pente	Mas à la Porteille en montagne	1	paye
1378	Mestrallet Claude dit la Place	Pré en pente	Mas à la Porteille en montagne	3	paye
1380	Mestrallet Claude dit la Place	Maison en pente	Mas à la Porteille en montagne	3	paye
1381	Couvert Charles feu Aimoz	Maison	Mas à la Porteille en montagne	1	paye
1382	Couvert Charles feu Aimoz	Pâturage en pente	Mas à la Porteille en montagne	1	paye

Quand le relevé des parcelles est terminé on passe à la deuxième étape : géo-référencer les anciens cadastres. Préalablement des journées sur le terrain auront été nécessaires afin de repérer l'existence ou la trace d'éléments du paysage déjà présent au 18^{ème} ou au 19^{ème} siècle, afin d'avoir un maximum de points de calage. Par exemple, sur le document n°3 qui est un extrait de la mappe de l'alpage de l'Erellaz, la photo de droite est la ruine actuelle d'un ancien chalet que l'on retrouve sur la mappe (parcelles rouges).

Pour le géo-référencement nous utilisons des clichés numérisés des cadastres. En effet, les Archives départementales de la Savoie ont numérisé l'intégralité des mappes et du cadastre français de leur territoire, malheureusement celles de Haute-Savoie n'ont effectué qu'une partie de leurs mappes, ce qui rend pour certaine commune des territoires choisis l'analyse spatiale impossible.

Document n° 3 : Les ruines actuelles d'un chalet d'alpage sur l'Erellaz, commune de Sollières-Sardières, répertorié sur le cadastre de 1728.



La troisième étape consiste à numériser les parcelles dans ArcMap et à faire la jointure avec les tableaux Excel, afin que chaque entité ait ses propres données attributaires. Ensuite, on peut procéder à la quatrième étape en exécutant des sélections et des requêtes spatiales, suivant le territoire et la thématique étudiée sur celui-ci.

Après avoir intégré dans un SIG les données et les plans cadastraux des différentes époques, nous pourrions examiner les structures et les formes d'organisation spatiale mis en évidence par les sélections et les requêtes.

3. ...afin de répondre à la demande patrimoniale des sociétés locales.

Les cartes que nous pensons obtenir devraient nous éclairer sur l'usage du sol au 18^{ème} siècle et son évolution jusqu'à aujourd'hui sur les territoires montagnards. La mise en évidence des structures paysagères et des pratiques agro-pastorales devraient nous permettre de répondre à certaines questions des sociétés locales, qui s'inquiètent du devenir et de la mise en valeur de leurs ressources patrimoniales.

Prenons en exemple la communauté de communes de la vallée d'Aulps (Haute-Savoie) qui souhaite réhabiliter ses anciens vergers car il n'en existe quasiment plus sur son territoire. La mise en place de la méthodologie vue plus haut permettrait de retrouver les parcelles en verger au 18^{ème} et 19^{ème} siècles et de les localiser sur une carte actuelle, la mémoire collective les ayant oubliés. Les acteurs locaux aimeraient également connaître les variétés de fruitiers indigènes et les sauver en créant un petit verger conservatoire à l'abbaye de Saint Jean d'Aulps. Les registres cadastraux sardes ne mentionnant pas toujours la variété de l'arbre, il faudrait compléter l'étude avec une investigation sur le terrain, auprès des « personnes ressources » locales, mais également s'intéresser à d'autres types d'archives.

L'abbaye d'Aulps fait également l'objet d'une forte demande patrimoniale locale. En effet, avec l'ouverture en 2007 d'un « centre de découverte », des expositions temporaires devront être alimentées par de nouvelles recherches scientifiques. L'utilisation du cadastre sarde intervient dans l'étude de l'organisation du bâti du chef-lieu et du secteur de l'abbaye. Draper les clichés de la carte sur le Modèle Numérique de Terrain de la commune permettrait d'étudier l'emprise de l'abbaye au 18^{ème} siècle, et fournirait un support interactif pour les expositions grand public.

Une autre demande est celle du Pays d'art et d'histoire de la vallée d'Abondance (Haute-Savoie). Un sentier d'interprétation sur le thème de la forêt et de son évolution dans la vallée est en projet sur la commune de la Chapelle d'Abondance. Afin d'alimenter les panneaux d'interprétation, l'analyse spatiale à partir de la carte

sarde devrait mettre à jour la relation qu'il y a entre la production du fromage d'Abondance (AOC) et la variation de l'étagement de la forêt (avancée et reculée des alpages)(LIZET, 1998), (VIALLET, 1993). Une étude sur les différentes essences pourrait également être effectuée.

Le travail effectué grâce au SIG devrait permettre de répondre aux différentes demandes patrimoniales des territoires d'étude et d'entamer une réflexion plus poussée sur la notion encore floue de « ressource patrimoniale ».

Conclusion

Ce travail sur le cadastre sarde participe à la mise en valeur de la ressource patrimoniale qu'est le paysage de montagne, car après qu'elle ait été identifiée par une collectivité, il lui faut une connaissance objective. En effet, comme la ressource est susceptible d'être exploitée (notamment au point de vue touristique) il faut de la matière afin d'alimenter le discours scientifique à destination des sociétés qui devront transmettre le témoignage. L'étude de la mappe et des données que renferment ses livres cadastraux nous apporte les informations nécessaires à une meilleure compréhension de l'usage du sol perpétué par les sociétés alpines. Les structures et les formes d'organisation qui seront mis en évidence par l'analyse spatiale nous permettront de mieux cerner la ressource patrimoniale qu'est le paysage, et de mieux répondre aux besoins des sociétés montagnardes en matière de patrimoine local.

Références bibliographiques

- BARBERO, D., 2001, Représentation cartographique d'une image vécue : le cadastre sarde. Essai de géographie historique, Université Jean Moulin Lyon III, Lyon, 259 p.
- BRUCHET, M., 1988, Notice sur l'ancien cadastre de Savoie, Annecy, Archives de la Haute-Savoie, 3e ed., 110 p.
- GUICHONNET, P., 1955, Le cadastre savoyard de 1738 et son utilisation pour les recherches d'histoire et de géographie sociales, in Revue de Géographie Alpine, tome 43, Grenoble, p. 255-298.
- LATTA, C., 2001, Le SIG : outil géographique pour l'étude cadastrale des communes d'Excenevex, de Nernier et d'Yvoire en 1732, Mémoire de maîtrise, sous dir. D.Barbero, Université Jean Moulin Lyon III, non publié, p. 171.
- LIZET, B., 1998, Le génie des alpages. Paysage, vache, fromage en Abondance, in Revue de géographie alpine, tome 86, n°4, Grenoble, p. 35-50.
- MUSEE SAVOISIEN, 1981, Le cadastre Sarde de 1730 en Savoie, Chambéry, Musée Savoisien, 244 p.
- VIALLET, H., 1993, Les alpages et la vie d'une communauté montagnarde : Beaufort du Moyen-Age au XVIII^{ème} siècle, in Mémoires et documents publiés par l'académie salésienne, tome 99, p. 275.

ESSAI DE MODELISATION SPATIALE D'UNE SOURCE NOTARIALE. LES CONTRATS DE *PARCERIAS* ET LEURS DYNAMIQUES. (CERDAGNE, PYRENEES DE L'EST, XIII^E-XVIII^E SIECLE)

Marc Conesa

doctorant, Montpellier III

Avec la collaboration de :

Mélanie Le Couédic, doctorante, univ. Tours

Carine Calastrenc, FRAMESPA, - univ. Toulouse Le Mirail

Elisabeth Bille, docteur en histoire, FRAMESPA - univ. Toulouse Le Mirail

Si les actes notariaux ont été l'objet de nombreuses études sociales ou économiques, ils sont plus rarement interrogés du point de vue spatial. Aussi, l'objectif de ce travail est d'exposer les interrogations, les méthodes, les apports et les limites de la spatialisation d'une source notariale : les *parcerias*. Assimilables à des baux à cheptel, ces actes ont été dépouillés aux archives de Puigcerdá (Cerdagne - Pyrénées de l'Est - Espagne) entre 2003 et 2005 dans le cadre de chantiers-histoire²¹. Ils forment un corpus de 407 contrats, inégalement répartis entre le XIII^e et le XVIII^e siècle. Chaque document identifie le bailleur et le preneur puis précise la nature et le nombre des animaux concernés. Il définit aussi sa durée (5 ans en moyenne) et les modalités de partage du lot, du croît et des fruits. Les pratiques notariales et les évolutions juridiques du contrat, les relations sociales et les logiques économiques ont d'abord été l'objet d'une analyse dans la longue durée de la documentation²².

En complément de cette première approche, l'analyse spatiale visait initialement deux objectifs principaux. Pour le petit groupe d'étudiants, doctorants et chercheurs qui s'était constitué autour de ce chantier, il s'agissait d'abord de se confronter à cette forme d'analyse et de faire l'apprentissage du dépouillement qu'elle impose. La source traitait a priori d'élevage et d'espaces, mais quelles données en étaient réellement spatiales, à quelles échelles, et quelles informations apportaient-elles sur la structuration de cet espace montagnard ? Le second objectif, encore à atteindre, est de traiter l'hypothèse selon laquelle la présence de vastes zones pastorales d'altitude donne aux relations entre espaces une tonalité particulière : alors que du point de vue du peuplement, le bassin cerdan paraît structuré dès le XII^e siècle en trois couronnes hiérarchisées (ville au centre, villages de plaine, hameaux et écarts de piémont), du point de vue de la richesse herbagère, ce sont les habitats à la marge, au pied des pâturages, qui peuvent devenir centraux. Dans quelle mesure captent-ils éventuellement les contrats ? Et selon quelles logiques ? C'est en fonction du droit à la montagne et des découpages territoriaux et juridictionnels qui le définissent, qu'il faut interroger le corpus²³. Certaines communautés d'habitants, certaines maisons, certaines dominations seigneuriales, en effet, médiatisent vis-à-vis des autres l'accès aux territoires de dépaissance à différents niveaux — du pré commun à un quartier d'estive ou à une vallée entière — selon des configurations où la continuité territoriale n'est pas toujours la règle. Dans ce schéma, essentiellement médiéval et qui change progressivement durant l'époque moderne, le bail à cheptel pourrait apparaître comme un outil de contournement des voies statutaires d'entrée aux herbages : le preneur ouvre ses propres accès au bétail qui lui est confié. L'objectif final est donc de projeter la trame des relations de *parcerias* sur différents schèmes territoriaux pour éclairer les transformations des usages de l'acte dans un espace lui-même en mouvement. Avant d'y parvenir, un décorticage de la source et de ses données s'impose. C'est à ce travail qu'est consacré cet article.

²¹ Les chantiers-histoire visent trois objectifs : la formation d'étudiants aux paléographies médiévales et modernes (1) au cours d'un travail en équipe (2) pour dépouiller des actes de notaires dispersés dans des centaines de registres (3), hors de portée d'une personne isolée.

²² Conesa (M.), « Le Chantier-Histoire : présentation, bilan, perspectives. », *Estivage et structuration sociale d'un espace montagnard : la Cerdagne*, Projet Collectif de Recherche, rapport intermédiaire, dir. Christine Rendu, SRA Languedoc-Roussillon, 2003, p.79-86 ; Bille (Elisabeth), *Seigneurs, maisons et vacants. La Cerdagne du X^e au XIV^e siècle*, thèse de doctorat nouveau régime, (dir. Cursente Benoît), Toulouse-Le Mirail, 2004, 529 p., p. 493-498 ; Bille (E.), Conesa (M.), Rendu (C.), Bosom (S.), "L'élevage du moyen âge à l'époque moderne au prisme des contrats de *parceria*. Le chantier histoire : retour sur une expérience originale", *Ceretania*, 2005, n°4, p. 265 – 277.

²³ Christine Rendu n'a pas seulement ouvert la voie à ces interrogations dans sa thèse (Rendu (C.), *La montagne d'Enveig. Une estive pyrénéenne dans la longue durée*, Perpignan, Trabucaire, 2003, 606 p.) mais elle a également encouragée, au sein du PCR Cerdagne, le travail en équipe et les discussions au delà des clivages disciplinaires et des découpages en périodes historiques.

Trois directions de recherche orientent ce premier essai. La première est critique : elle revient sur la nature et la signification des données spatiales, puis examine d'éventuels biais de production de la source, susceptibles de déformer l'image que celle-ci livre des relations de *parceria*. La deuxième procède à l'analyse spatiale de ces données selon un objectif précis : vérifier et qualifier l'attractivité des espaces herbagers dans la logique des contrats. Elle est incontestable, mais se révèle différemment selon les échelles d'analyse. La troisième direction de recherche est un premier essai d'analyse dynamique des relations sur la longue durée des XIII^e-XVIII^e siècle. Les transformations qui apparaissent ne peuvent-elles aider à saisir un peu mieux le rôle et la place de la source, dans une économie pastorale fondée sur des rapports changeants à l'espace ?

1. Implications spatiales des *parcerias* et constitution de la base de données spatialisée

Pour l'essentiel, les données spatiales contenues dans la source se réduisent à trois éléments : le domicile du bailleur, le domicile du preneur, et le lieu de signature de la transaction. A partir de là, trois hypothèses peuvent être formulées.

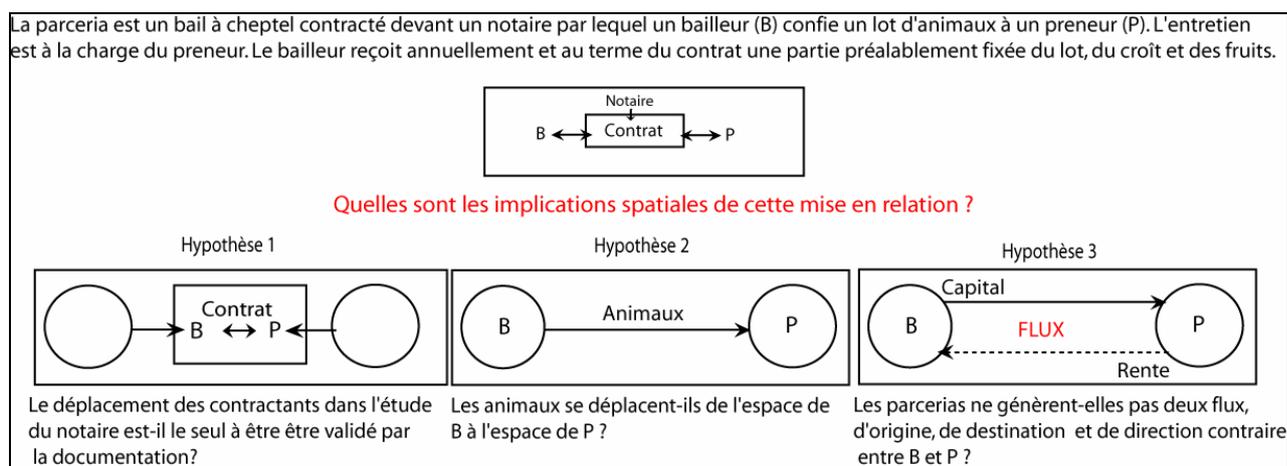


Schéma 1.

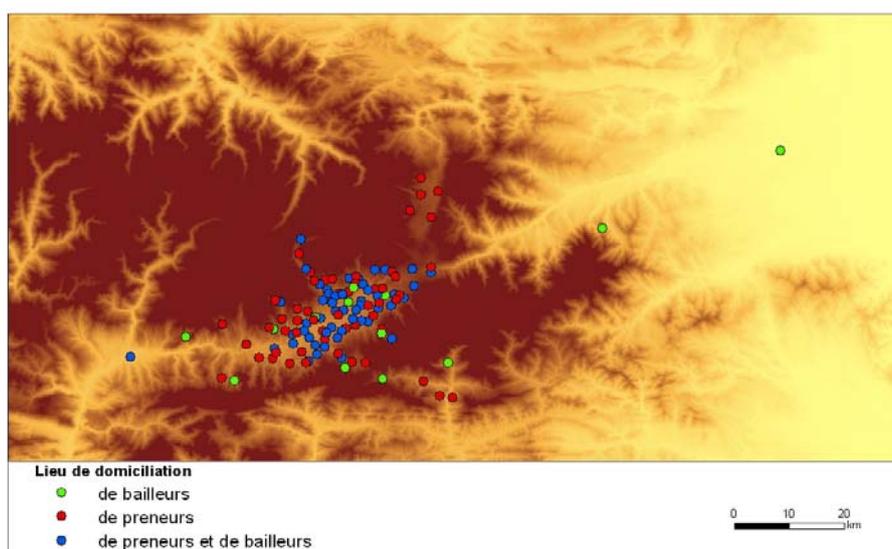
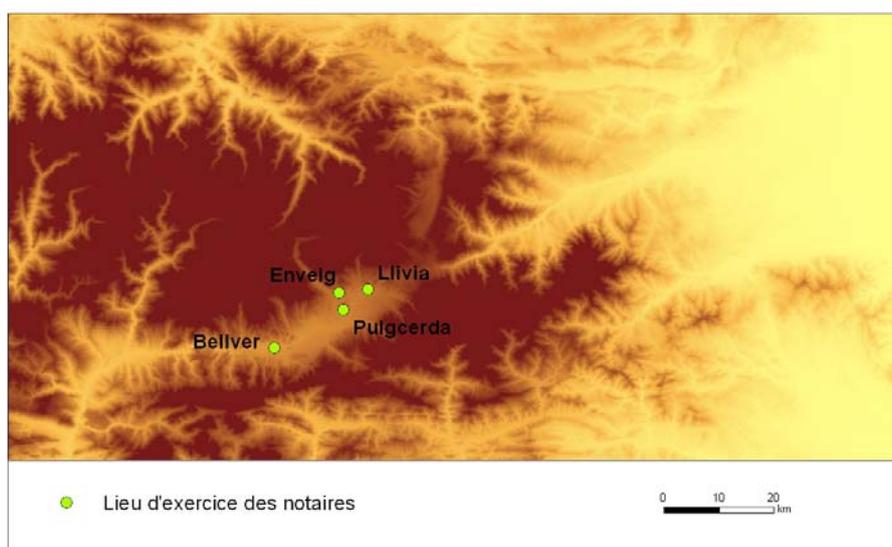
La première procède d'une lecture littérale des documents où la seule implication spatiale des contrats est de réunir le preneur, le bailleur et le notaire en un même lieu, pour la signature de l'acte notarié. Recevable d'un point de vue logique, elle nie toute implication spatiale de l'objet du contrat : le cheptel. Au contraire, la deuxième hypothèse est de nature interprétative: si l'objet du contrat est un lot d'animaux confié par le bailleur au preneur, alors les animaux se déplacent du domicile du bailleur à celui du preneur, à charge pour lui de les nourrir et de les entretenir dans les espaces herbagers qui relèvent de son ressort territorial et étroitement contrôlés au niveau de la communauté d'habitants : les prés, qu'ils soient tenus en propre ou seulement accessibles, après la fenaison, lors de la pâture commune et les pacages communs. Ainsi, les différences entre l'espace du bailleur et celui du preneur pourraient motiver la signature de la *parceria*. Toutefois, rien dans les actes ne démontre un déplacement systématique du lot d'animaux. Au contraire, certains contrats mettent en relation des bailleurs et des preneurs domiciliés en des lieux distincts, sans que les troupeaux ne semblent se déplacer entre les deux domiciles. Là, le preneur est aussi le débiteur du bailleur ; il lui doit une somme d'argent, un capital. Pour rembourser cette dette, il met en gage un lot d'animaux, en totalité ou en partie, au profit de son créancier. Dès lors, celui-ci baille ledit lot au preneur, qui verse des intérêts, la rente, sur ce capital qu'il lui a consenti. Si ce capital a changé de mains, l'espace des animaux est le même ; ces derniers ne se sont pas « déplacés » au sens géographique. En revanche, deux flux de sens contraire peuvent être représentés sous la forme d'une relation, d'une ligne, entre le domicile du bailleur et celui du preneur. Ces cas de figure permettent de forger la troisième hypothèse, retenue comme la plus valable : les *parcerias* s'y définissent comme une relation entre deux agents économiques qui produisent deux flux d'origine, de destination et de direction contraires : l'un signifiant le capital, l'autre la compensation exigée pour l'exploitation de ce capital.

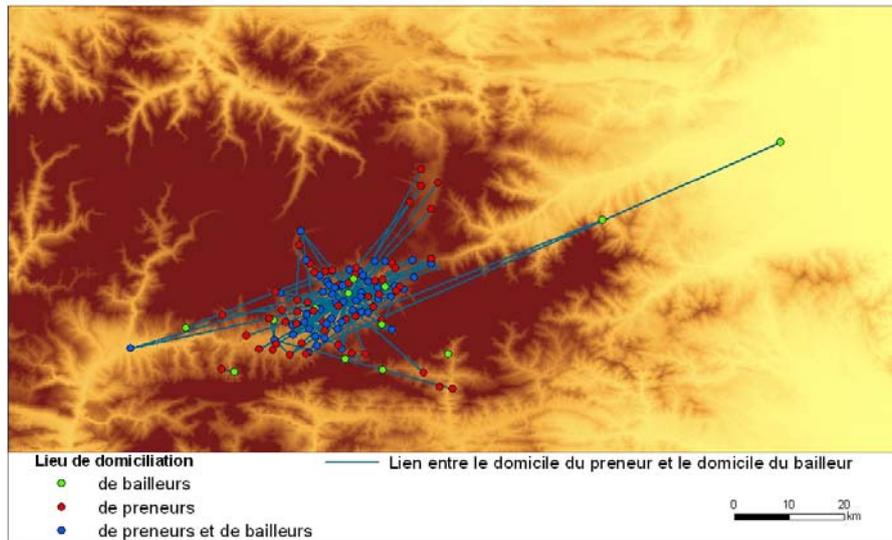
A partir de l'hypothèse retenue, la première étape de l'intégration des données sous SIG a consisté à localiser les lieux d'exercices des notaires (**carte 1**) et les lieux de domiciliation des contractants, à partir du Scan 25 de la Cerdagne. Quelques localités ont aujourd'hui disparu. Elles ont été localisées de manière relative, en fonction de leur proximité à d'autres lieux-dits encore existants (**carte 2**). Dans le procédé d'analyse, on peut,

dans le SIG, rapporter à chaque lieu le nombre de preneurs, de bailleurs, le type et le nombre animaux échangés et réaliser de multiples interrogations. Dans un second temps, les relations entre lieux de domicile des preneurs et des bailleurs ont été spatialisées par des lignes à partir d'une table décrivant chaque contrat (à l'aide de l'extension « carte de flux » sous Arc Gis 8). Ces lignes ne représentent pas directement les déplacements des d'animaux, mais matérialisent plutôt ces flux de capitaux (crédit, cheptel, rente) engendrés par les contrats. Elles « symbolisent » l'implication spatiale des actes.

2. Des relations polarisées par Puigcerdá et constitutives d'un modèle centre-périphérie ?

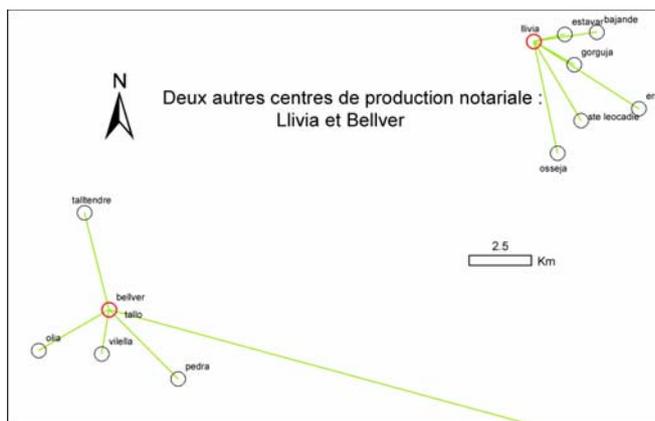
La **carte 3** présente les relations entre les lieux entre lesquels une ou plusieurs *parcerias* ont été signées. Ces contrats, ici toutes périodes confondues, couvrent toute la plaine de la Cerdagne. A plus petite échelle, on remarque des extensions ponctuelles ; vers l'est, c'est le cas d'un bailleur domicilié à Perpignan. Vers le nord-est, des contrats sont passés avec des habitants du plateau voisin du Capcir. Au nord, ils s'étendent vers la vallée du Carol, à l'ouest vers la cité épiscopale d'Urgell et au sud vers le Vall de Ribes. A première vue, cette carte de flux donne l'impression d'une polarisation de l'espace des *parcerias* par la ville de Puigcerdá.





Carte 3 : spatialisation des relations des lieux de domicile des contractants sous forme de flux

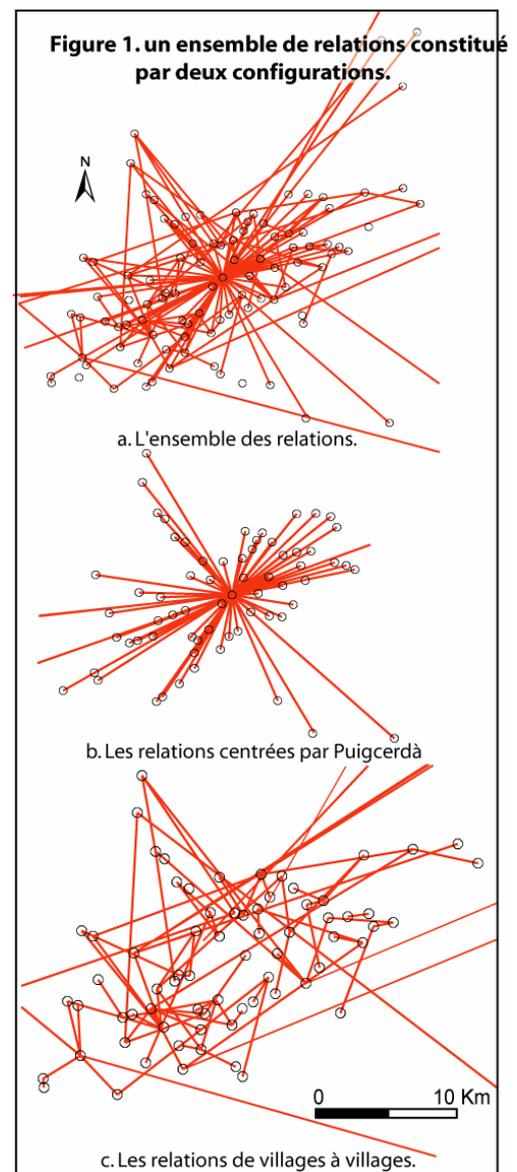
Or, la très grande majorité des notaires de Cerdagne officie dans la ville. Cette présence du notariat ne constitue-t-elle pas un biais dans la documentation qui conduit à sur-représenter la cité ?



Carte 4. Des foyers notariaux secondaires

La **carte 4** fait apparaître les centres notariaux secondaires. Elle conforte l'impression d'une sur-représentation des relations entre des habitants de ces centres et des villages. Toutefois, la proportion élevée de contrats signés à Puigcerdà même, mais entre deux villageois (près de 40% des contrats), montre que cette sur-représentation, impossible à quantifier, n'est pas de nature à déformer complètement l'image. D'autres biais des sources peuvent encore exister, qui restent à analyser : ils résident principalement dans un recrutement préférentiel des aires propres à chaque notaire.

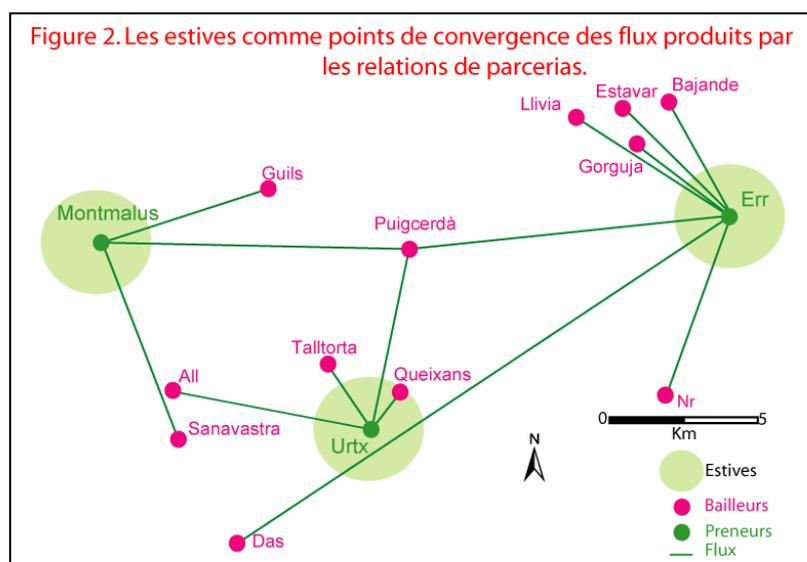
La suite de l'analyse permettra de revenir autrement à cette question de l'influence des centres notariaux. L'objectif est maintenant d'examiner la distribution des relations bailleurs-preneurs en fonction du lieu de domicile des contractants. L'hypothèse selon laquelle la *parceria* est sous-tendue par une disparité des espaces en ressources herbagères et permettrait éventuellement de contourner les règles d'accès à ces ressources



est-elle vérifiée ? Le **tableau 1** souligne d'abord que les *parcerias* sont en très grande majorité (90%) signés entre des individus de lieux différents. Les relations participent ensuite de deux configurations différentes qui éclairent les complémentarités recherchées (**figure 1**) : l'une est centrée sur Puigcerdá (env. 50% des actes), l'autre relie les villages (env. 40%).

Bailleurs / Preneurs	Villages	Puigcerdá	Non renseignés	Total
Villages	159	1	3	163
Puigcerdá	208	11	3	222
Non renseignés	17	1	4	22
Total	384	13	10	407
(Nombre de contrats entre individus d'un même lieu)	(30)	(11)	(0)	(41)

La ville participe à plus de la moitié des *parcerias* dépouillées, mais la répartition bailleurs – preneurs est très inégale : 95% des contractants habitant Puigcerdá sont des bailleurs, qui représentent ainsi près de 55% de la totalité des bailleurs. Détentrices du capital, la cité investit dans les villages entrés dans sa proche périphérie (une majorité des actes s'inscrit dans une couronne distante de moins de 7,5kilomètres de Puigcerdá) à travers des baux à cheptel plus rémunérateurs que la rente foncière (on estime le rendement de 20 à 30% pour les premiers contre 5% pour la seconde)²⁴. Cette économie est essentiellement fondée sur les produits de l'élevage bovin et équin (près de 60% des animaux de ces espèces sont baillés par les hommes de la ville) dans les terroirs proches de la cité. Par ce type de contrats, la ville pallie le manque de fourrage récurrent dans son terroir étriqué et renforce son emprise sur les espaces environnants. Cette configuration paraît dès lors s'inscrire dans un modèle centre-périphérie classique.



S'en tenir à ce constat serait oublier qu'une grande partie des baux à cheptel est établie entre les habitants des villages. Les relations y sont définies par des interconnexions multiples (figure 1) qui paraissent former une configuration en rhizome. Dans cet ensemble, un changement d'échelle montre que les villages dotés de pacages d'altitude, d'estives, semblent former des points de convergence des relations (**figure 2**). L'élevage concerné est plus souvent de type ovin. Au delà de l'image dominante où l'essentiel des contrats part de

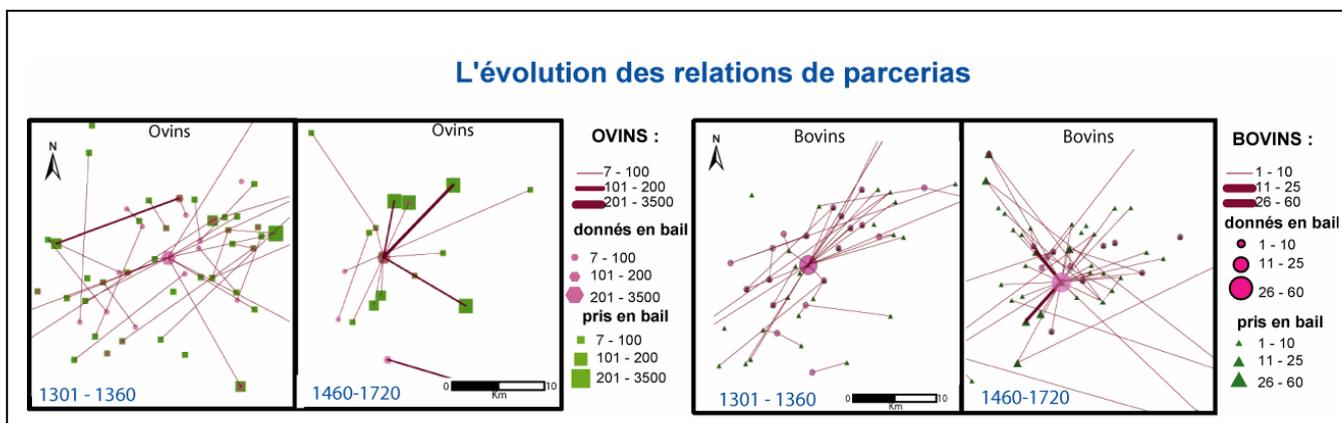
Puigcerdá, ce deuxième modèle met donc au jour une autre forme de relations, a priori non structurée directement par le poids et le capital urbains. Du point de vue d'une polarisation par les versants, cet éclairage latéral qui met à distance la ville, sert en quelque sorte de contre-épreuve : non seulement il la confirme, mais il suggère même un rôle actif des habitats de piémont (les plus susceptibles d'être sous-représentés) dans la gestion des *parcerias*. Si celles-ci établissent des relations à travers toute la Cerdagne et même au-delà, leur usage varie donc en fonction des espaces : contrats bovins et équins à capitaux urbains sur les herbages intensifs des villages proches de la cité, contrats sous-tendant des jeux sur l'accès aux estives des communautés d'habitants montagnardes, esquissent de manière grossière encore les deux faciès extrêmes d'un acte dont une analyse

²⁴ Whickam(Chris), *Communautés et clientèles en Toscane au XII^e siècle*, 1995, trad. fr, Rennes, Bibliothèque d'Histoire Rurale, n°2, 2000, 303 p., p.23 ; Caucanas (Sylvie), "A propos des baux à cheptel. Gasailles et arègues en pays d'Aude (XV^e-XVIII^e siècle), *Histoire et sociétés rurales*, n°23, 2005, p.205-216, p.206

détaillée livrerait des cas de figure intermédiaires. Mais ces deux pôles, qui paraissent bien ouvrir la voie à une recherche des structures territoriales sous-jacentes aux emplois de la *parceria*, résultent pour l'instant d'un écrasement de la dimension temporelle. Or loin d'être statiques ou a-historiques, les configurations compilées sur la carte procèdent d'évolutions dans la longue durée. Quelles dynamiques celles-ci dessinent-elles ?

3. Disparition des *parcerias* écrites et dissociation des espaces de l'élevage.

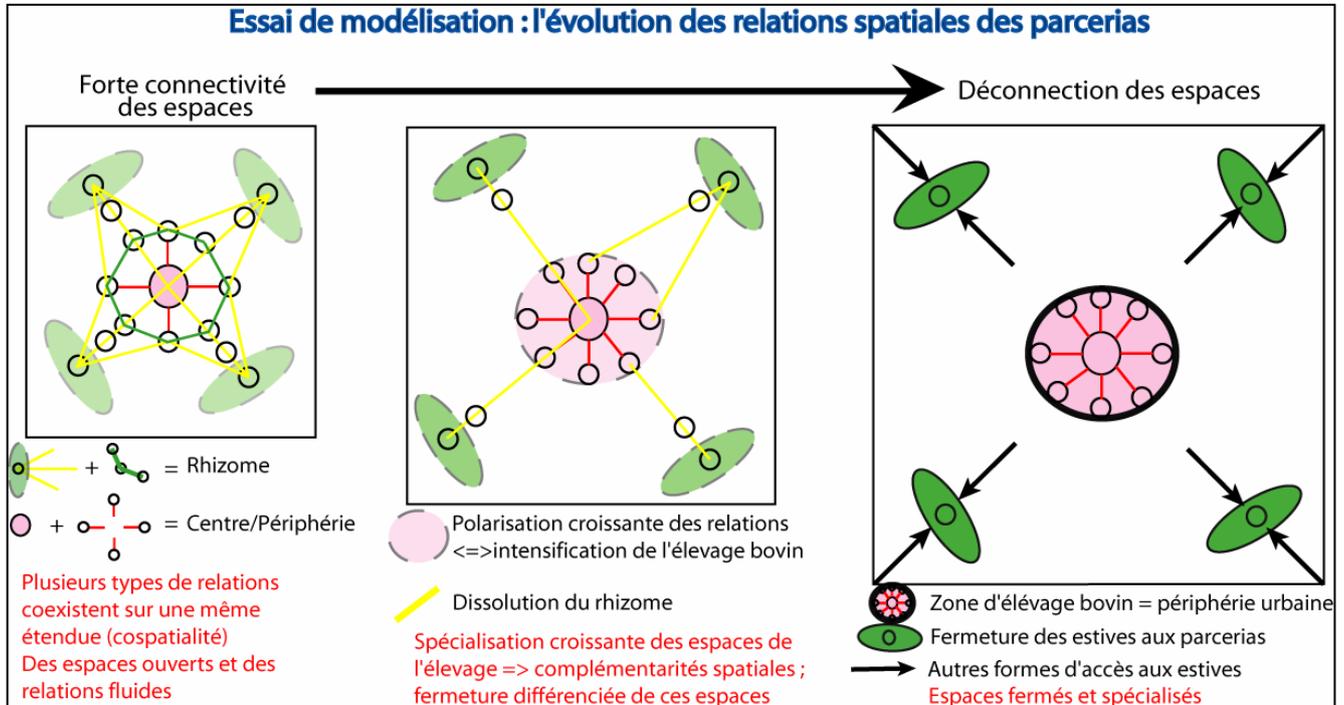
Une tendance lourde structure cette évolution des *parcerias* dans la longue durée, celle de leur progressive disparition des sources notariales. Très fréquent jusqu'au bas Moyen-Âge, ce type d'acte se raréfie à l'époque moderne, jusqu'à disparaître des registres notariés dans la première moitié du XVIII^e siècle. Or cet effacement — très relatif car le contrat oral de *parceria* est encore vivace au début du XX^e siècle, avec des modalités qu'il reste à étudier — s'accompagne d'une progressive transformation de la distribution spatiale des actes. Pour les ovins, la comparaison des quantifications de flux entre le Moyen Âge et l'Époque Moderne montre une simplification extrême des relations, caractérisée à la fois par une disparition des contrats inter-villageois, une polarisation exclusive des quelques actes restants sur Puigcerdà, enfin une réduction des distances (**cartes 5 et 6**). L'évolution pour les bovins est bien différente. Si la ville polarise nettement un nombre encore élevé de contrats sur une petite ceinture de villages proches, d'autres relations, de longue distance, évitent Puigcerdà (**cartes 7 et 8**).



Eclairés par des informations issues d'autres sources, ces mouvements contradictoires suggèrent, à titre de pistes de recherche, quelques hypothèses. Les *parcerias* ovines, essentiellement vouées à ouvrir à des troupeaux les estives de communautés montagnardes auxquelles ils n'auraient pas eu accès, ne se sont jamais fortement polarisées sur Puigcerdà : la ville a, dès le milieu du XIV^e siècle, acquis des droits sur différents massifs, qui ont dispensé ses éleveurs de conclure de tels contrats (les *parcerias* évitent ces aires-là). Dévolue aux relations inter-villageoises, excentrée au sens propre, la *parceria* se raréfie dans les sources écrites de la capitale cerdane (les études notariales rurales n'ont pas toutes été dépouillées). Lorsque Puigcerdà, au XVIII^e siècle, perd ses pâturages, les formes d'accès aux estives ont profondément changé. Elles se déclinent sur d'autres registres, la location de quartiers de montagne circonscrits aux étrangers d'une part, une rigidification du principe de résidence comme base du droit d'estivage sur le reste des communaux d'autre part, l'un et l'autre phénomène signant une territorialisation plus exclusive des aires pastorales. La *parceria* écrite demeure marginale, mais le fait ne reflète pas forcément un déclin proportionnel de cet élevage. Les *parcerias* bovines, elles, concernent essentiellement les herbages intensifs des villages proches de la ville, pour un élevage naisseur et d'embouche. Elles participent de la construction d'un pré carré autour de Puigcerdà. Avec la fermeture progressive au parcours et à la vaine pâture, cet espace a de moins en moins à voir avec les formes d'accès aux herbes collectives. Dans cette relation de proximité urbaine que sous-tend l'affirmation de la propriété privée, l'acte notarié se maintient plus largement. Sa raréfaction, moins nette que pour la *parceria* ovine, est attribuable en grande partie à des acquisitions foncières par les hommes de Puigcerdà dans ces villages périphériques : ils n'ont plus besoin de preneurs comme intermédiaires.

Ces quelques hypothèses, fragiles encore, tendraient à montrer que si l'influence des centres notariaux induit des biais, elle le fait de façon plus subtile qu'on aurait pu le supposer, et ne devrait pas empêcher une

compréhension globale des logiques des actes. Elles incitent donc à approfondir l'analyse des relations spatiales informées par la source, au regard des différentes configurations territoriales qui la contraignent. Mais cette analyse ne pourra se passer d'une mise en perspective constante et critique des usages nuancés du contrat, des conditions de sa production, y compris de sa prise en charge par l'écrit.



LE PARCELLAIRE DE ROTS (CALVADOS) AU MOYEN ÂGE : RECONSTITUTION REGRESSIVE, STRUCTURATION ET DYNAMIQUES SPATIALES.

Thomas Jarry

chargé de recherches détaché, Centre Michel-de-Boüard — CRAHM
UMR (CNRS / Université de Caen Basse-Normandie) n°6577
th.jarry@orange.fr

Résumé : Jugée jusque-là périlleuse à cause du caractère lacunaire de la documentation et à cause de préventions méthodologiques, la reconstitution d'un parcellaire médiéval est possible dans le cadre de l'ancienne baronnie de Rots. Elle ouvre la voie à l'étude des structurations et des dynamiques spatiales dans la Plaine de Caen.

Mots-clés : abbaye Saint-Étienne de Caen, Moyen Âge, Normandie, parcellaire, reconstitution régressive, terrier.

Mes travaux s'inscrivent dans le thème de la construction, de la structuration et de l'utilisation de l'espace rural par la société médiévale (XI^e-XVI^e siècles). Il s'agit d'une part d'étudier l'appropriation et la gestion du territoire par les hommes qui l'habitent ; d'autre part d'analyser les permanences et les mutations de l'organisation territoriale. J'aborde plus particulièrement ces thèmes à travers le prisme de l'organisation des paysages agraires en relation avec les structures sociales et économiques ; sont privilégiées les marques laissées au cours du temps par les hommes sur leurs territoires (paysages, propriétés, parcellaires, etc.). J'ai souhaité développer le domaine de la représentation cartographique pour parvenir à la compréhension de ces phénomènes. Comme les plans parcellaires et les cartes à grande échelle n'ont été conservés qu'en très petit nombre avant le XVI^e siècle pour ma région d'étude (la Normandie), il m'est apparu nécessaire de reconstituer à l'aide des textes disponibles une image de l'espace médiéval, avant de l'étudier. À l'échelle locale, indispensable pour mener une analyse fine, je propose donc la reconstitution diachronique et régressive d'un parcellaire médiéval.

1. Le contexte de la recherche

La technique utilisée pour reconstituer le parcellaire et le paysage du XV^e siècle est celle qui est dite « régressive » ou « récurrente ». Utilisée pour la première fois à grande échelle par August MEITZEN dans son ouvrage *Siedlung und Agrarwesen der Westgermanen und Ostgermanen* (1895), promue en France par Marc BLOCH, dans les *Caractères originaux de l'histoire rurale française* (1931) et par Roger DION dans *l'Essai sur la formation du paysage rural français* (1934), cette méthode consiste à reconstituer des évolutions historiques en les étudiant à rebours du sens chronologique, c'est-à-dire en partant d'une étude du plus récent et du mieux connu pour éclairer les périodes plus anciennes et moins documentées. On remonte ainsi aux parcellaires médiévaux par l'intermédiaire des documents modernes et contemporains. Pour chaque étape, on compare des pièces qui donnent l'état des biens fonciers, pour évaluer et interpréter un cadastre ou un « terrier » plus ancien, et ainsi de suite de proche en proche. Dès lors, comme le relève André PLAISSE, dans *L'Évolution de la structure agraire dans la campagne du Neubourg* (1964), « écrire l'histoire des mutations de la propriété foncière est devenu un jeu aussi facile que celui qui consiste à dresser un arbre généalogique ». En Normandie, cette méthode a été illustrée après la Seconde Guerre mondiale par Folke DOVRING, dans une « Contribution à l'étude de l'organisation des villages normands au Moyen Âge » parue en 1952 dans les *Annales de Normandie*, puis par André PLAISSE, dans son ouvrage sur *La baronnie du Neubourg. Essai d'histoire agraire, économique et sociale* (1961), sans qu'aucun des deux auteurs ne puisse remonter jusqu'à la reconstitution d'un parcellaire médiéval. Plus récemment, elle a été mise en œuvre par Samuel LETURCQ, dans sa thèse intitulée *En Beauce, du temps de Suger aux temps modernes. Micro-histoire d'un territoire d'openfield* (2001), où il travaille avec un plan du XVII^e siècle.

Mon attention s'est portée sur la Plaine de Caen, en Normandie, qui fournit à mes recherches un terrain d'expérimentation privilégié et un cadre à différentes échelles. La reconstitution régressive est rendue possible par la qualité des sources attachées à l'ancienne baronnie de Rots (Calvados, arr. Caen, cant. Tilly-sur-Seulles)

[voir figure 1], qui appartenait aux abbayes Saint-Étienne de Caen et Saint-Ouen de Rouen. Déjà dans les *Caractères originaux*, Marc BLOCH signalait l'intérêt exceptionnel de plusieurs terriers conservés aux Archives départementales du Calvados. Ces textes et ces plans de description foncière éclairent sur plus de trois siècles la vie rurale d'une partie de la Plaine de Caen et leur conjonction permet d'envisager la reconstitution parcellaire des 2200 ha des actuels finages de Rots, Norrey-en-Bessin et Bretteville-l'Orgueilleuse. La richesse et la qualité des séries documentaires conservées, ainsi que la continuité typologique sur le seul terroir de la baronnie de Rots, autorisent l'utilisation d'une approche régressive. Ici est proposée la reconstitution d'un tiers du finage de Rots, représenté en jaune sur la figure suivante [voir figure 2].



Figure 1

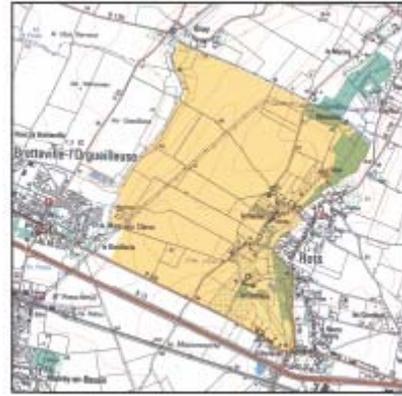


Figure 2

Les plans reconstitués ne sont qu'une étape dans des recherches historiques et sociales plus vastes. Je m'inscris dans un champ d'études qui considère le paysage comme objet d'histoire, comme composante des dynamiques territoriales. Reconstituer les parcellaires et les réseaux routiers, étudier les systèmes agraires, brosser le tableau de ce paysage médiéval impose de mener une enquête sur la longue durée qui prend en compte l'ensemble des facteurs qui agissent les uns sur les autres (relations économiques et sociales, habitat, réseau viaire, encadrement politique, etc.). Toutes les sources (cadastrales, textuelles, archéologiques, iconographiques, micro-toponymiques) sont mobilisées pour répondre à la question de la traduction spatiale des processus historiques.

2. Les données étudiées

Une démarche de ce type impose de regrouper les sources sur la longue durée, du Moyen Âge à la Révolution française. Pour leur croisement et leur traitement, on utilise l'outil informatique : le choix a été fait de construire un système d'information géographique avec le logiciel appelé MacMap®.

Parmi ces sources, dans le fonds de l'ancienne abbaye Saint-Étienne de Caen, conservé en grande partie aux Archives départementales du Calvados, on trouve particulièrement trois livres fonciers :

1. un terrier de 1479 [voir figure 3], registre de 283 folios de parchemins, surnommé « marchement » (Arch. dép. Calvados, H 3226). C'est l'état parcellaire de ce terrier, sans plan contemporain conservé, que l'on propose de reconstituer.
2. un terrier de 1666 [voir figure 4], registre de 301 folios de papier, illustré de dix-sept plans parcellaires en couleur, dressés par l'arpenteur-juré Pierre Legendre (Arch. dép. Calvados, H 3229). Un plan général en couleur, de 2,90 × 1,50 m, est conservé sous la cote Fi H 3222.
3. un terrier de 1769, registre de 142 folios de papier, illustré de dix plans parcellaires en couleur, dressés par l'arpenteur-juré Pierre Gervaise (Arch. dép. Calvados, H 3254).

Chacun de ces terriers décrit précisément toutes les parcelles du finage de Rots, champs comme villages, tenures comme réserves, et sans distinction de fiefs. C'est un des rares cas en Normandie pour lesquels la description ne s'arrête pas aux seules terres dépendantes de l'abbaye commanditaire du terrier : le « marchement » couvre la seigneurie de l'abbaye de Caen et le « fief Semion » qu'elle a acheté en 1388, mais aussi la seigneurie de l'abbaye Saint-Ouen de Rouen dans le même territoire.



Figure 3

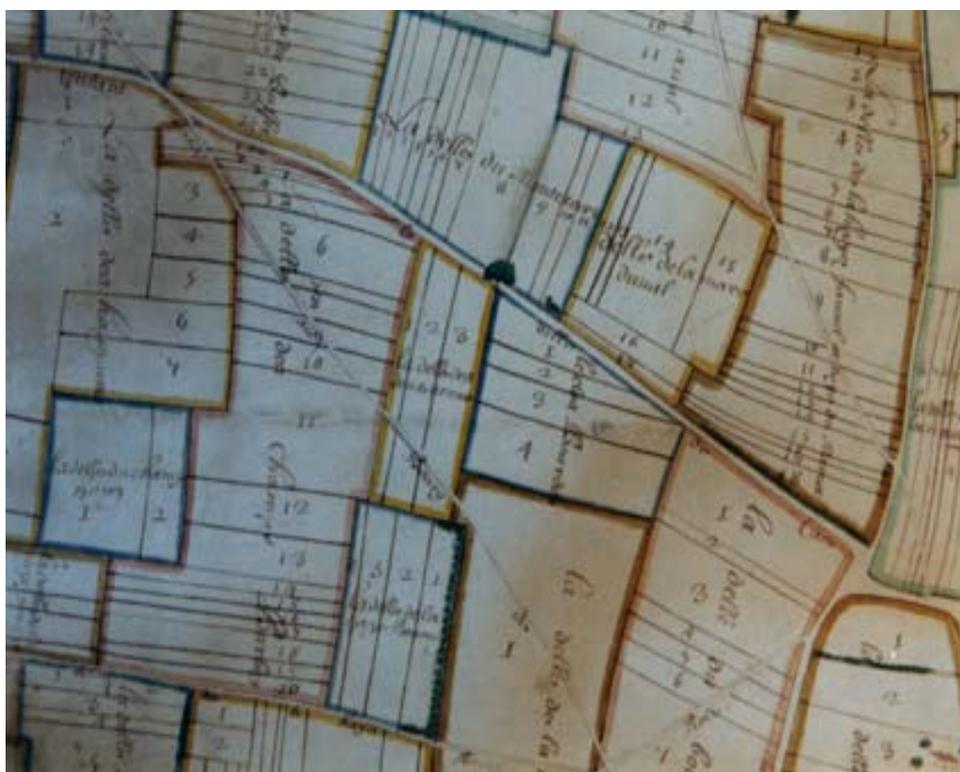
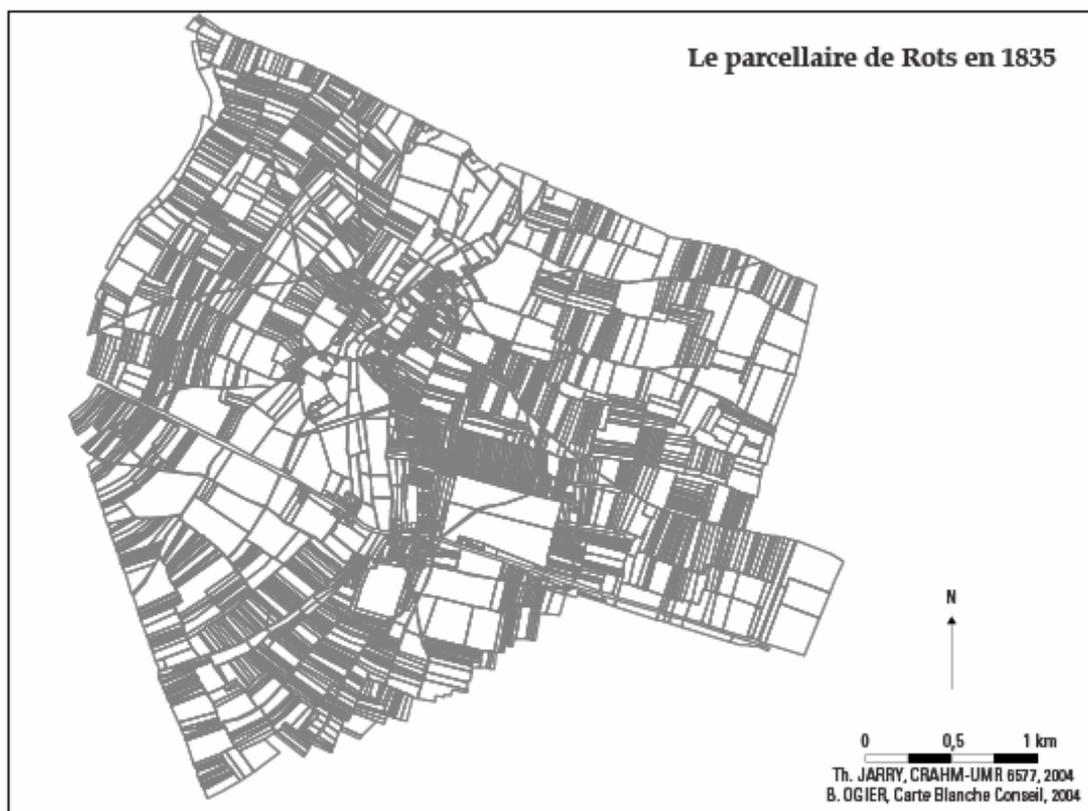


Figure 4

Cet ensemble constitue un corpus documentaire homogène : les livres fonciers sont tous issus de la même institution ; ils sont continus chronologiquement et l'arpenteur du XVIII^e siècle s'appuie sur le travail de son prédécesseur ; ils couvrent le même espace de manière complète ; ils décrivent les parcelles les unes après les autres, dans un ordre topographique. Ils sont donc adaptés à une tentative de reconstitution régressive. On choisit pour cela d'utiliser une copie du plan cadastral contemporain (2004) [voir figure 5] : une fois dessiné sous MacMap®, il fournira la base de toute reconstitution et de tout emplacement d'objets plus anciens. Les coordonnées Lambert servent de point d'appui pour reprendre le dessin du plan cadastral de 1835 [voir figure 6]. Cette étape au XIX^e siècle est nécessaire parce que le plan de 1835, qui fixe un état parcellaire antérieur aux remembrements des années 1950, offre une image plus proche des plans de l'époque moderne que le cadastre actuel. De plus, il permet d'obtenir deux étapes de même durée : 169 ans de 1835 à 1666, 187 ans de 1666 à 1479. On passe de 1835 à 1666 avec le texte du terrier moderne ; le terrier de 1769 n'est utilisé que pour surmonter d'éventuelles difficultés. La reconstitution grâce au seul texte de 1666 est dite « à l'aveugle » : on vérifie sa validité grâce au plan-terrier. Cette précaution méthodologique est nécessaire parce que la reconstitution « à l'aveugle » est la seule possible de 1666 à 1479. On répète ainsi dans la seconde étape la méthode mise en place et validée dans la première, en supposant que les modifications auront été du même ordre durant le même laps de temps. Ce présupposé s'appuie sur l'existence d'un plan parcellaire daté de 1477, et qui était joint au marchement, aujourd'hui perdu, d'Allemagne (auj. Fleury-sur-Orne, Calvados, arr. et cant. Caen)²⁵, autre possession de l'abbaye Saint-Étienne de Caen : l'organisation parcellaire de la fin du XV^e siècle est semblable à celle de Rots, à une dizaine de kilomètres de là, et à celle visible dans les plans-terriers du XVIII^e siècle²⁶.



Extrait du cadastre de 1835, commune de Rots, Arch. dép. Calvados, 3P 6109.

Figure 5

²⁵ Arch. dép. Calvados, H 2457. Voir Thomas JARRY, « Autour d'un plan médiéval normand. Le plan parcellaire d'Allemagne (Fleury-sur-Orne) de 1477 », *Histoire et Sociétés rurales*, n°23, 1^{er} semestre 2005, p. 169-204.

²⁶ Par exemple un plan-terrier d'Allemagne en 1782, Arch. dép. Calvados, Fi H 2396.

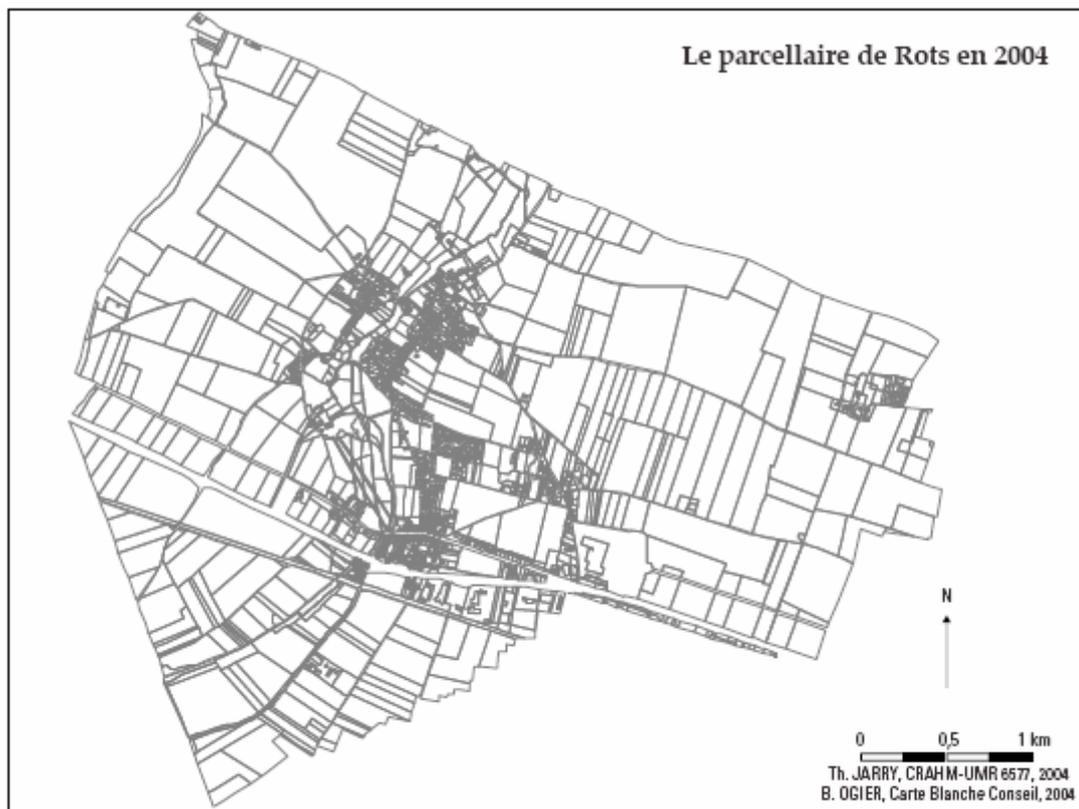


Figure 6 Extrait du cadastre de 2004, Centre des impôts fonciers et service du cadastre du Calvados, 14 0 543 Rots.

La figure suivante [voir figure 7] est une proposition pour la reconstitution du parcellaire médiéval. À partir d'un texte, sans plan disponible pour l'époque étudiée, on peut donc reconstituer l'état parcellaire d'une partie de l'ancienne baronnie de Rots à la fin du XV^e siècle.

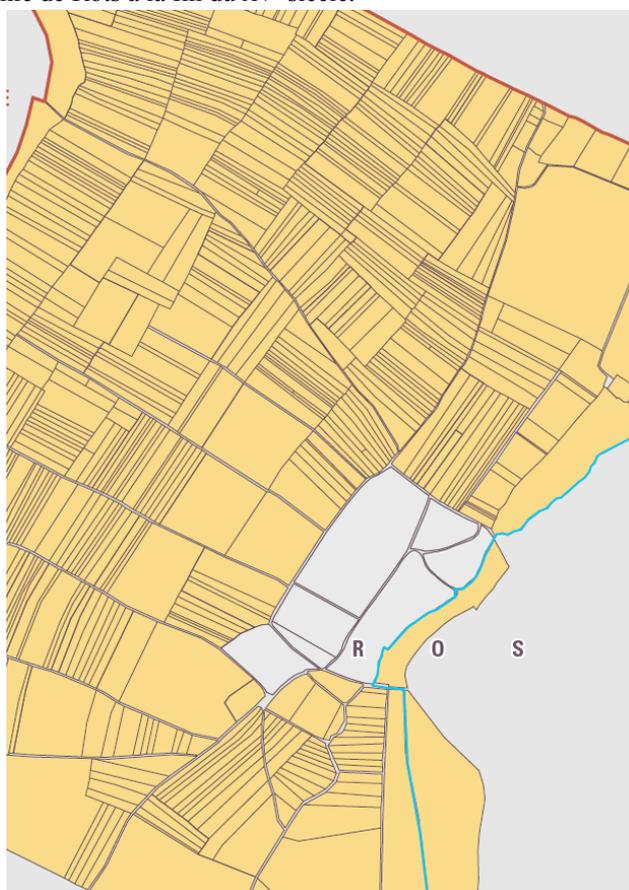


Figure 7

3. Les analyses spatiales

À partir du plan obtenu, on procède à des représentations ou des analyses spatiales dont quelques exemples sont donnés à la suite.

1. [voir figure 8] Analyse par répartition : nature de l'occupation du sol (zones habitées, terres labourables, prés et prairies, etc.) ;

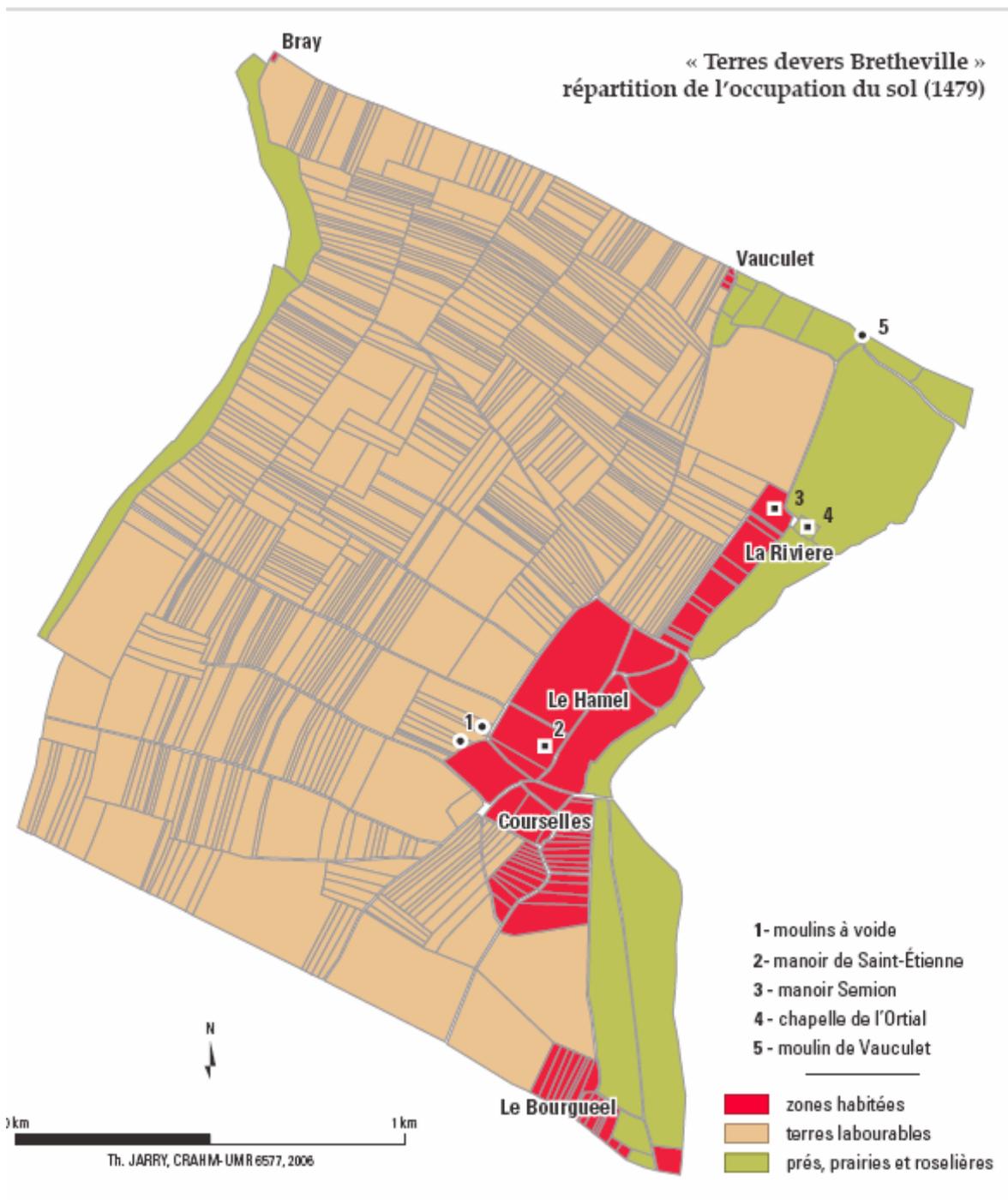


Figure 8

2. [voir figure 9] Analyse du découpage de l'espace et de la morphologie parcellaire, à partir de la microtoponymie et de l'orientation des parcelles, pour tenter d'expliquer les irrégularités et l'origine de ces parcelles ;

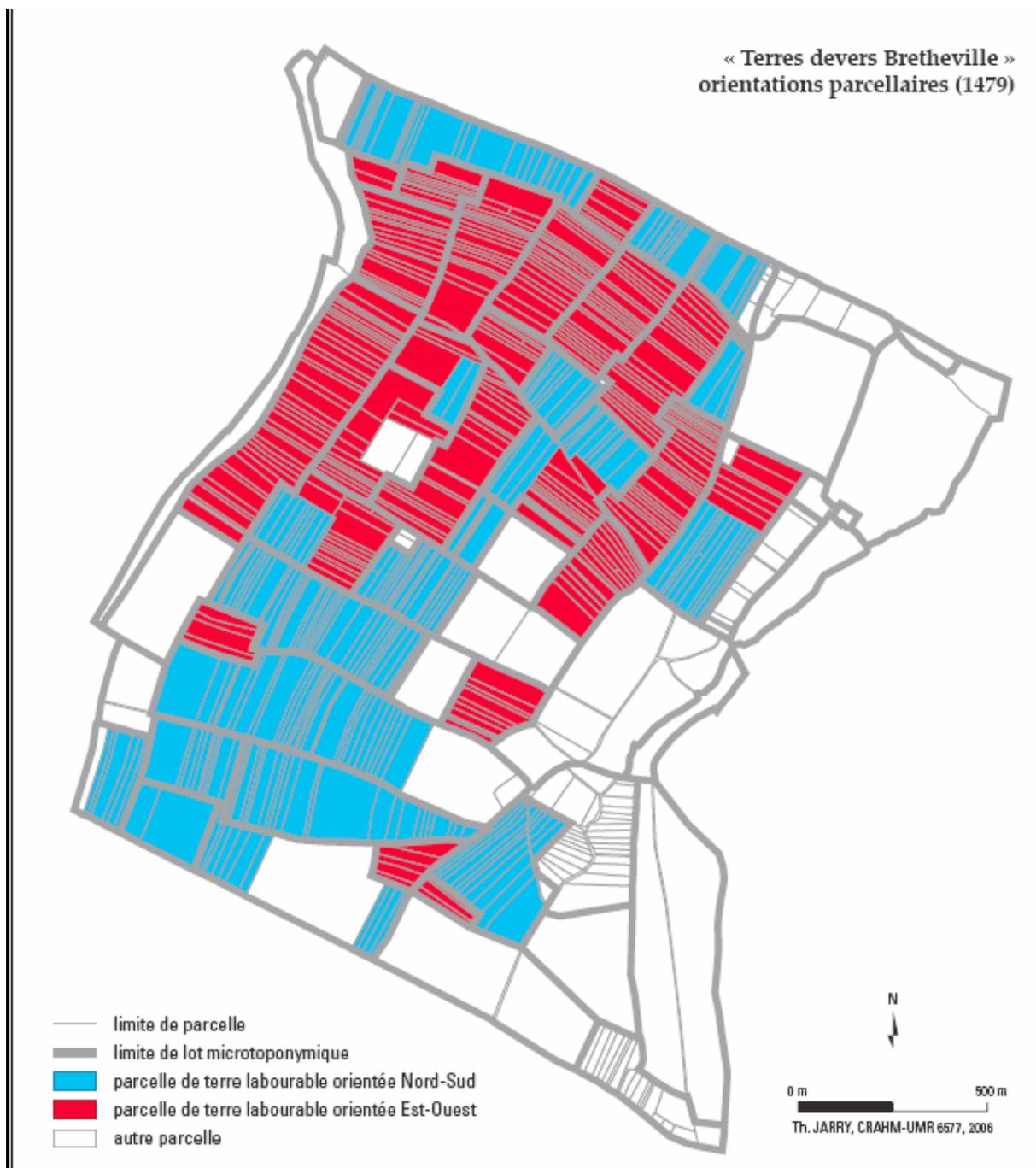


Figure 9

3. [voir figure 10] Analyse statistique de l'habitat et du bâti (population, formes d'habitats, désignation des bâtiments d'habitation), pour étudier les facteurs géographiques de discrimination sociale ;

4. [voir figure 11] Analyse par carroyage de l'évolution du parcellaire, qui a pour objectif de mettre en évidence les zones où les limites parcellaires sont modifiées, avant d'interpréter les évolutions²⁷ ;

²⁷ Ce plan est extrait d'un article écrit en collaboration avec Benoît Ogier : Thomas JARRY et Benoît OGIER, « Système d'information géographique et espace rural médiéval : l'utilisation du logiciel MacMap dans la reconstitution du parcellaire de la Plaine de Caen », *Le Médiéviste et l'ordinateur*, « Les systèmes d'information géographique », 44, 2006 [en ligne] <http://lemo.irht.cnrs.fr/44/parcellaire-caen.htm>

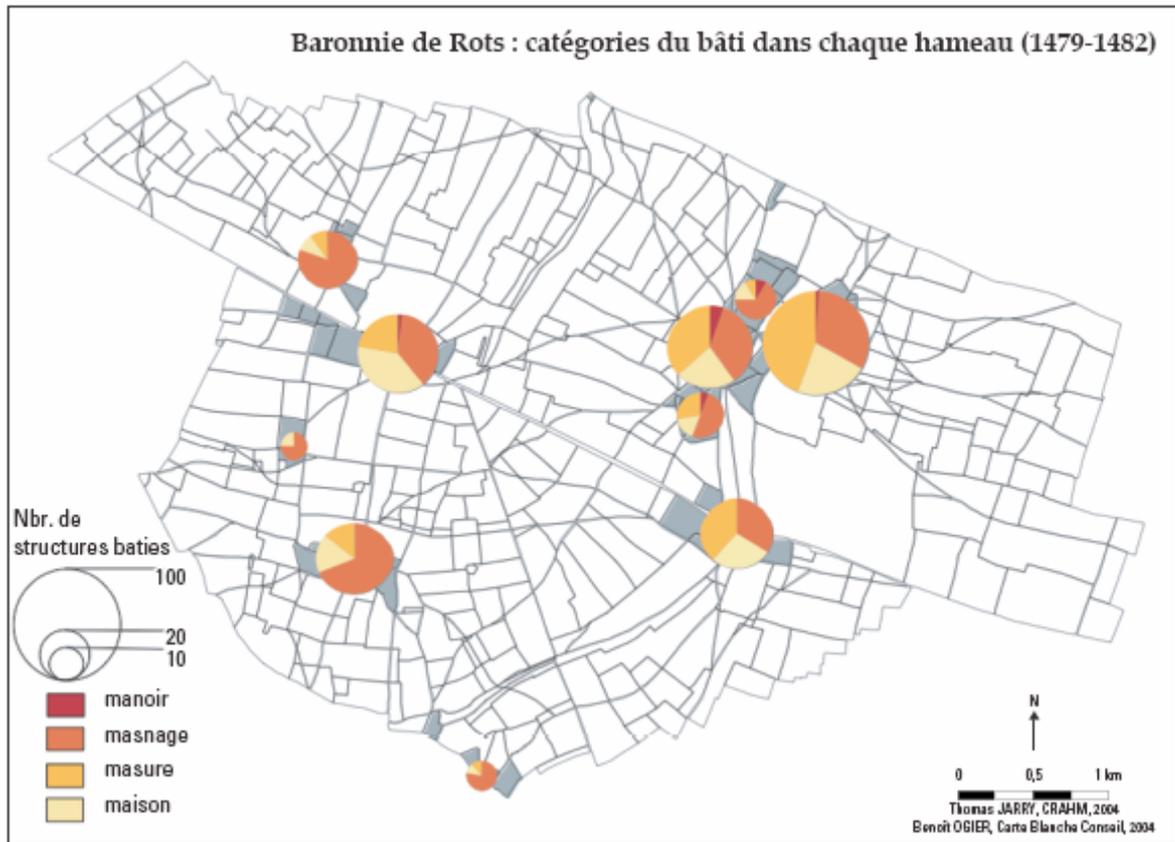


Figure 10

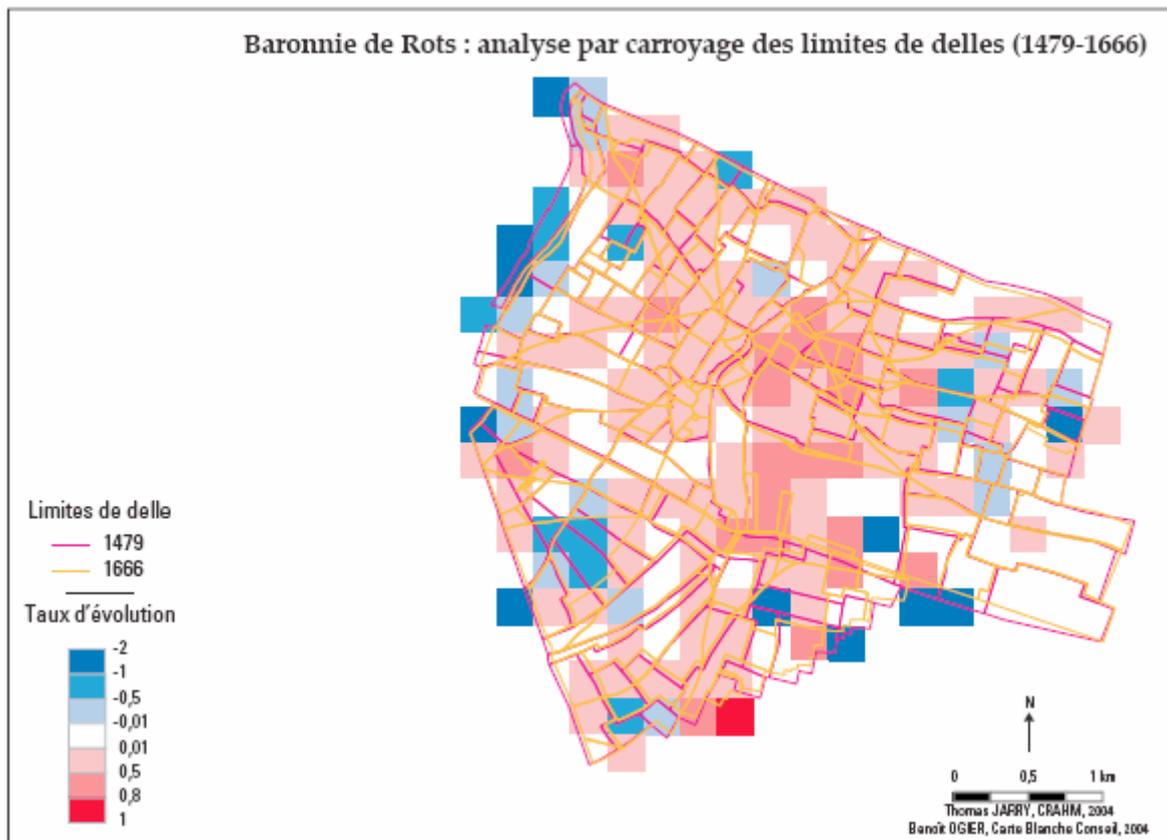
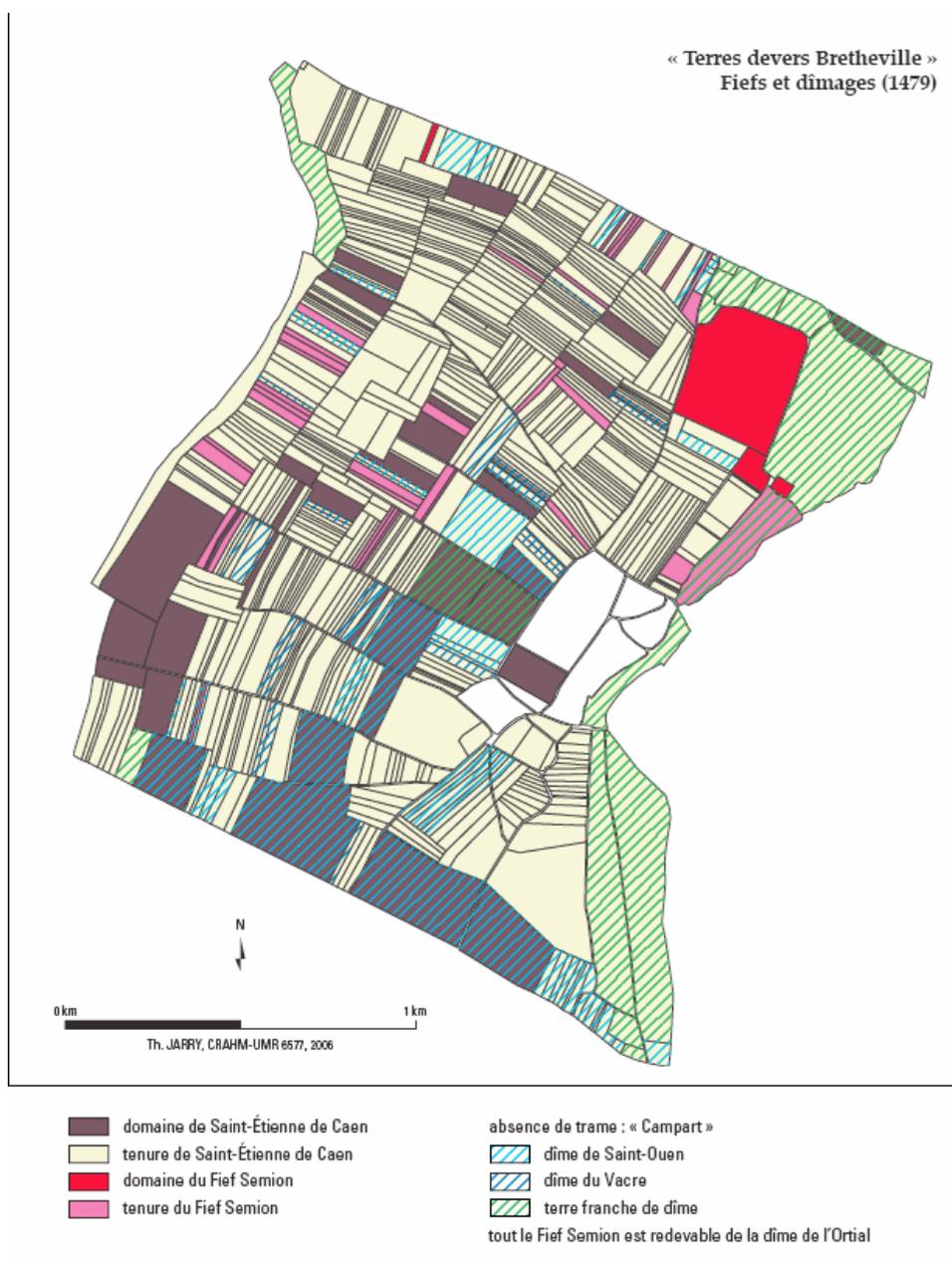


Figure 11

5. [voir figure 12] Analyse par croisement des données (paroisses, dîmes, fiefs), qui fait apparaître des territoires fragmentés (territoire paroissial ou territoire d'exploitation) et des pratiques intercommunautaires dans lesquels interviennent des facteurs de distance (le réseau viaire est alors analysé) ;

À partir de ces sources foncières, nous voyons donc un paysage dynamique, fabriqué, organisé, structuré par les hommes selon leurs besoins. Ces quelques exemples ne sont pas exclusifs. MacMap®, comme la plupart des SIG actuels, est évolutif et dispose d'une interface de développement qui pourrait permettre d'aller plus loin dans l'aide à la reconstitution régressive d'un parcellaire. L'intégration de données archéologiques (des traces de parcellaires antiques ou proto-historiques à l'est du territoire de Rots) ou textuelles (baux à ferme et actes de vente foncière) prolongera l'étude en l'élargissant à l'ensemble de la Plaine de Caen.

Cette recherche est nécessairement micro-historique et micro-géographique, mais elle permet de dégager des conclusions éventuellement généralisables, ou au moins susceptibles de comparaisons. Elle s'appuie sur la reconstitution minutieuse d'un parcellaire médiéval à l'aide de la cartographie régressive. La confection d'un corpus documentaire typologiquement et géographiquement homogène, ainsi que l'utilisation prudente de la méthode régressive, permettent d'aboutir à la construction d'une image complète d'un parcellaire médiéval. L'utilisation du paysage comme source historique, nécessite, comme pour l'interprétation d'un texte, comme ailleurs dans la recherche historique, de confronter les sources cartographiques, archéologiques et textuelles, de construire une méthode scientifique, de définir les outils de l'analyse géographique.



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

Nicolas Poirier

UMR 6173 CITERES – Laboratoire Archéologie et Territoires.

Cadre de l'étude.

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

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

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

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

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

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

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

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

1.1. Méthodologie de terrain

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1. Analyse par maille.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cette opération livre 3 types d'informations :

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

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

2.2. Quelques éléments d'interprétation.

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

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

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

Conclusion.

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

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

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

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

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

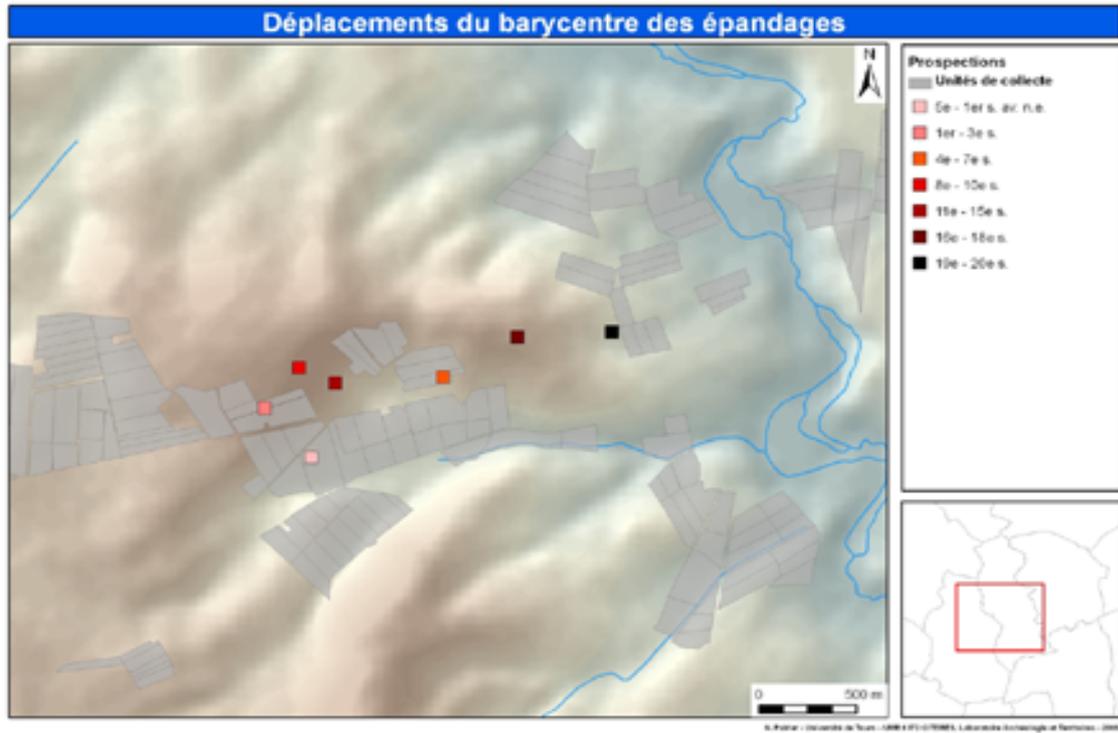


Figure 1

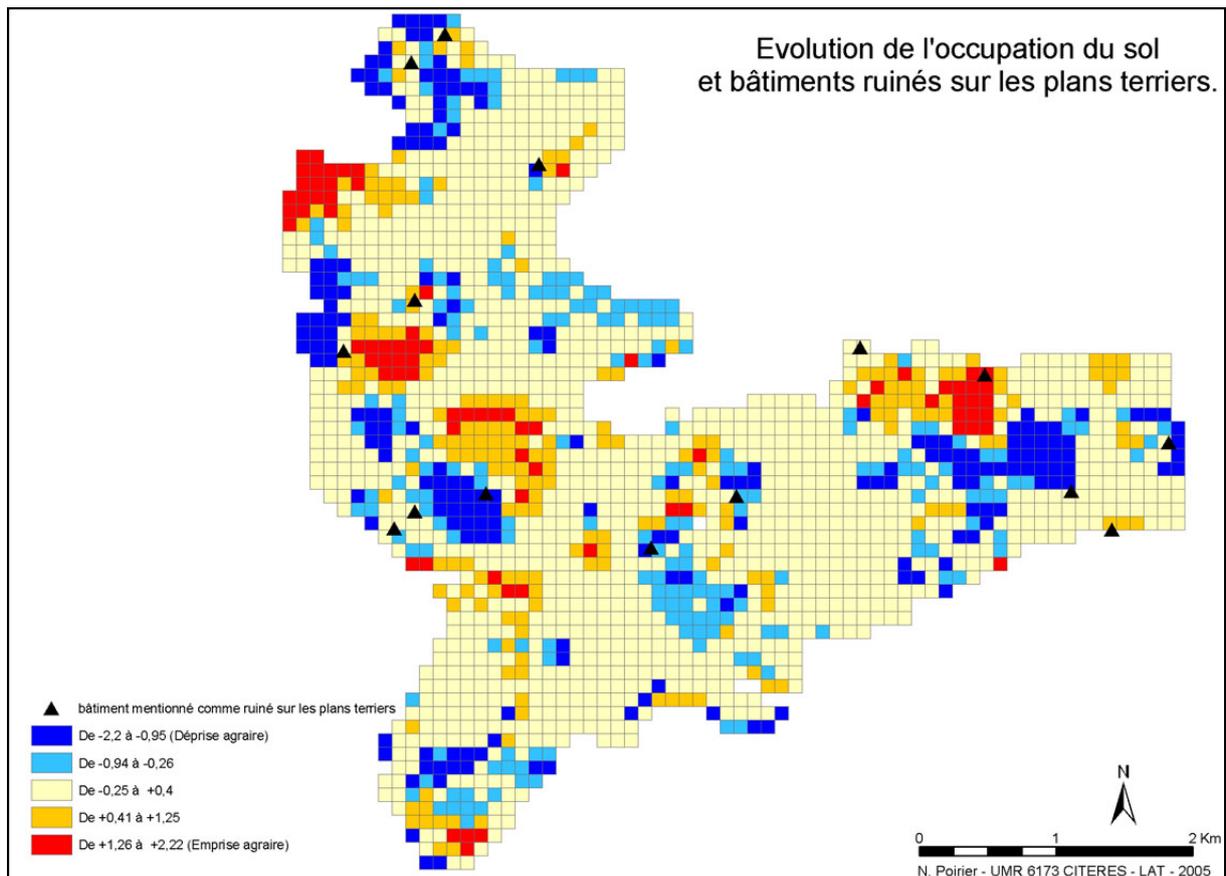


Figure 2

ÉTUDES GEOMORPHOLOGIQUES DE L'ENVIRONNEMENT DE LA GROTT CHAUVET (ARDECHE – FRANCE) APPORTS DES REPRESENTATIONS ET MODELISATIONS 3D AUX CONNAISSANCES PALEOGEOGRAPHIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DU CIRQUE D'ESTRE

Sadier Benjamin

laboratoire EDYTEM – UMR 5204

Résumé : Nous proposons de présenter un modèle d'analyse spatiale du site étudié via sa représentation 3D en réalité virtuelle afin de mieux connaître les relations d'un site à très forte valeur patrimoniale (la grotte Chauvet), avec son environnement. Nous incluons dans ce modèle un MNT (modèle numérique de terrain), les données géomorphologiques souterraines des cavités environnantes, les données géomorphologiques de surface, des images de réalité virtuelle obtenue par scannage des parois des gorges de l'Ardèche et du cirque d'Estre où se trouve la grotte Chauvet et les données géologiques. Toutes ces données seront géo référencées afin de pouvoir mettre à jour leurs interrelations, ceci pour plusieurs raisons : - mieux connaître les paléogéographies et les paléoclimats (et la physionomie des paysages qui leurs sont rattachés) présents lors de la mise en place et de l'évolution de la grotte Chauvet. - Apporter de nouvelles connaissances sur le processus de fermeture (écroulement) de la grotte Chauvet qui a permis ainsi l'excellente conservation des joyaux patrimoniaux tels que les peintures rupestres, empreintes, ossements. Ce modèle devrait nous permettre de mieux connaître l'environnement (paysages et climats) de la grotte Chauvet durant les occupations humaines.

La grotte Chauvet (Ardèche – France) est une cavité exceptionnelle tant en ce qui concerne l'art pariétal, les témoins préhistoriques et paléontologiques qu'elle renferme, mais aussi vis-à-vis des témoins paléoenvironnementaux et paléogéographiques présents (Delannoy et al., 2001, Delannoy et al., 2004). Cette cavité fait l'objet de nombreuses recherches par une équipe scientifique pluridisciplinaire dirigée par Jean Michel Geneste et de nombreuses publications font part de leurs résultats.

Notre travail se situe au niveau du contexte environnemental et géographique de cette grotte. D'une part lors de sa mise en place et d'autre part, lors de son occupation par les animaux et par les hommes. Ainsi, nous voudrions retrouver non seulement les différents faciès de la grotte dans le temps mais aussi ceux de son environnement direct (le cirque d'Estre et le pont d'Arc). Les travaux déjà menés dans la grotte Chauvet ont permis de décrire et de comprendre précisément certaines périodes de sa mise en place (Delannoy et al., 2001, Delannoy et al., 2004, Delannoy et al., 2005) et un certain nombre d'indices ont permis d'émettre des hypothèses sur le contexte géographique et environnemental de son évolution. Afin d'exploiter au mieux le potentiel des informations déjà collectées, il faut maintenant étudier l'environnement direct de cette cavité afin de rattacher l'évolution des morphologies souterraines avec des facteurs extérieurs.

Le but de notre travail est de répondre à plusieurs questionnements concernant tout d'abord la paléogéographie de ce secteur de l'Ardèche. Quels ont été les paysages d'antan ? Comment la morphologie des gorges de l'Ardèche a-t-elle évoluée ? Quelles ont été les conditions de mise en place et d'évolution des ces morphologies ? C'est à l'issue de ces premières réflexions, qui se feront à l'échelle des temps géologiques, que nous pourrons entamer la deuxième partie de notre travail, concernant la grotte Chauvet. En effet, suite aux connaissances acquises précédemment, nous tenterons de résoudre plusieurs questionnements relatifs à la grotte Chauvet. Tout d'abord, ceux concernant sa mise en place et son évolution. Ensuite ceux concernant les occupations humaines. Quels ont été les différents environnements des hommes préhistoriques (chemin d'accès à la grotte, aspect du pont d'arc, reconstitution du porche de la grotte avant l'effondrement ayant provoqué sa fermeture) ? Ainsi, nous essayerons de compléter les informations déjà acquises par les archéologues et paléontologues sur les hommes préhistoriques ayant occupées cette grotte.

Pour notre travail de recherche nous avons élargi notre secteur d'études au cirque d'Estre mais aussi plus en amont, dans la vallée de l'Ibie (figure 1).

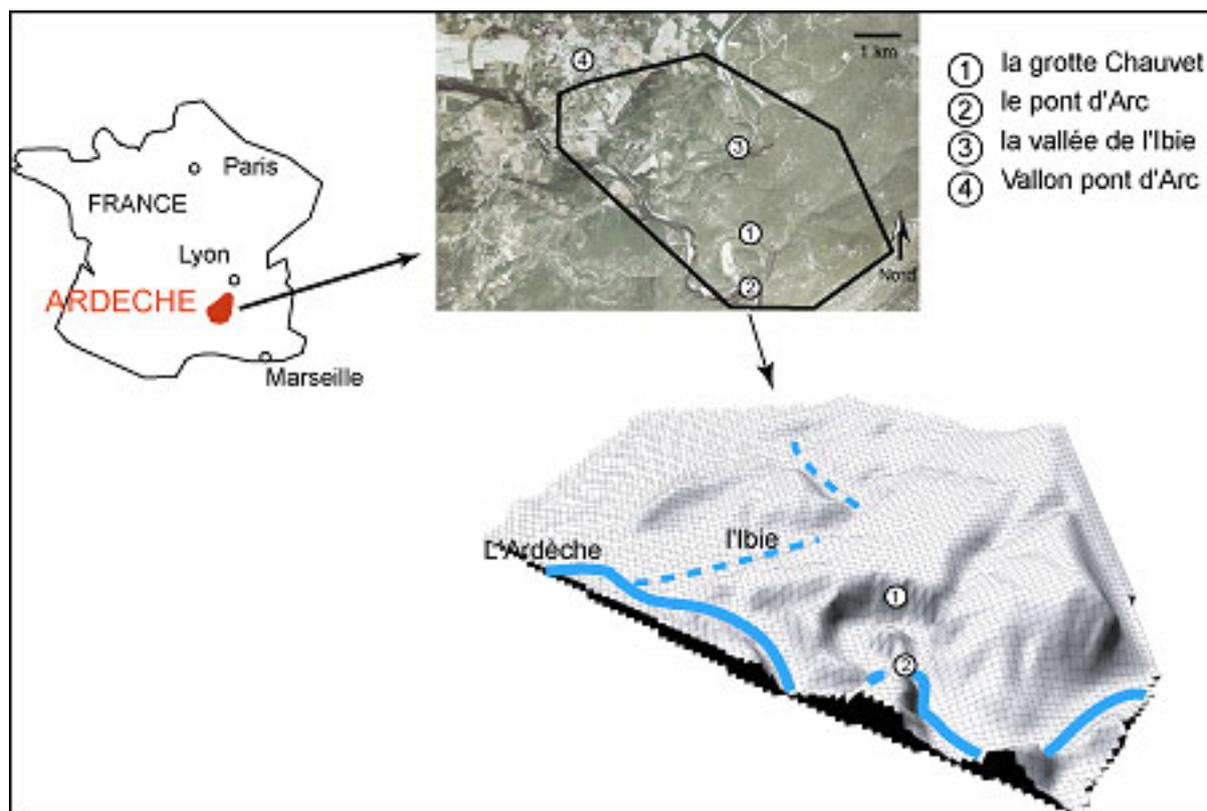


Figure 1 : localisation du secteur d'étude

Ce choix de délimitation s'est appuyé sur plusieurs observations de terrain. Tout d'abord, la partie aval de la vallée de l'Ibie semble être un méandre mort de la rivière de l'Ardèche. Ainsi, mieux connaître ce secteur en étudiant des terrasses fluviatiles et des cavités environnantes devrait nous informer sur les paléo-écoulements de l'Ardèche. Ensuite, l'étude du cirque d'Estre, qui est aussi un méandre mort de l'Ardèche, est importante puisqu'il représente l'environnement direct de la grotte Chauvet. De plus, il semble tronquer un nombre important de cavités qui ont du garder en mémoire les oscillations du niveau de l'Ardèche.

Notre travail se base sur une approche géomorphologique qui consiste à étudier les formes du relief (en surface et sous terre), leurs emboîtements afin de dégager une chronologie relative de leur mise en place que nous pourrions caler dans le temps à l'aide d'événements géologiques connus ou de formations sédimentaires par exemple.

Le premier temps de notre recherche est de travailler sur la paléogéographie du secteur que nous avons défini auparavant. Nous utilisons le protocole suivant.

Tout d'abord nous devons connaître le contexte géologique (la structure et la lithologie) de notre objet d'étude. Pour cela nous utilisons des cartes topographiques et géologiques à partir desquelles nous établissons des coupes. Ensuite, nous devons reconnaître les formes géomorphologiques de surface et souterraines qui structurent notre secteur. Ces formes sont reconnues à partir de l'étude de cartes topographiques, de levés de terrain et dans une moindre mesure de photographies aériennes. Puis, l'analyse de ces formes permet de comprendre leurs emboîtements et ceux-ci permettent en retour de savoir l'ordre de leurs mises en place.

La géographie de notre secteur d'étude est essentiellement conditionnée par l'Ardèche car elle représente le niveau de base local (Delannoy et al 2001, Mocochain 2002, Mocochain et al 2006). Ainsi, pour l'étude de la paléogéographie, il est important de retrouver les différentes positions de cette rivière aussi bien horizontalement (position des méandres) que verticalement (niveau altitudinal). Pour y arriver, nous utilisons d'une part notre première hypothèse de travail qui se base sur l'analyse des indices morphologiques recueillis précédemment et d'autre part notre deuxième hypothèse qui se fonde sur l'analyse des spectres pétrographiques

de l'Ardèche et de L'Ibie (Menneron, 2003). Le spectre d'une rivière peut être considéré comme sa signature, son analyse a pour but de détecter les éventuelles traces de passage d'une rivière donnée à un endroit donné. Nous établissons ces spectres à partir de la composition alluvionnaire (type de roches présentes et granulométrie) des cours d'eau. A partir de là, nous cherchons ce spectre dans les diverses coupes sédimentaires présentes en surface et sous terre.

Ensuite, nous utilisons notre troisième hypothèse de travail selon laquelle les oscillations latérales et verticales du niveau de l'Ardèche sont enregistrées dans la structure des conduits des grottes (Delannoy 1997, Jeannin 1996, Mocochain, 2006, Sadier 2005). Nous procédons alors à une étude des réseaux souterrains présents par l'analyse de la géométrie de leurs structures.

En croisant les données recueillies en surface et en milieux souterrains nous pouvons donc identifier les différents niveaux d'incision de l'Ardèche et les formes rattachées à ces différents niveaux correspondant à l'évolution de la paléogéographie de notre secteur d'étude.

A ce niveau de l'étude, pour synthétiser l'analyse géomorphologique spatiale, nous construisons un modèle de reconstitution paléogéographique en trois dimensions ce qui a pour avantage de mettre en relation des formes qui ne le sont pas explicitement lors d'observation de terrain. La base de ce modèle comprend un MNT (modèle numérique de terrain). Nous placerons sur ce MNT les données de terrain et les informations tirées de leur analyse en fonction de leurs coordonnées géographiques. Nous pouvons, à partir de ce modèle, reconstituer et visualiser les différents niveaux altitudinaux et oscillations latérales de l'Ardèche. A partir de ces niveaux, nous retrouvons les paysages depuis la mise en place des formes présentes dans le relief jusqu'à aujourd'hui.

Dès lors que nous connaissons l'histoire générale de ce secteur de la Basse Ardèche, nous connaissons aussi le contexte de mise en place et de l'évolution de la grotte Chauvet. Aussi, nous pouvons recentrer notre étude pour une connaissance approfondie de cette cavité et son environnement direct, répondant ainsi aux problématiques interdisciplinaires posées par la découverte de peintures pariétales.

Nous partons de l'hypothèse générale que la géométrie des parois du cirque d'Estre contient les informations témoignant de l'environnement des hommes ayant occupés la cavité il y a 30000 ans environ. Cette hypothèse est soutenue par le fait que les formes du relief, aussi bien dans leur aspect que dans leur répartition spatiale, témoignent des processus qui les ont façonnés. Lorsque ces derniers sont identifiés, nous leur rattachons un certain contexte environnemental et géographique. Pour étudier précisément la morphologie du relief, nous utilisons des outils de représentation 3D. L'intérêt de cette démarche réside dans sa précision et dans la capacité de pouvoir quantifier des processus d'érosion, d'incision ou des volumes écroulés (figure 3).

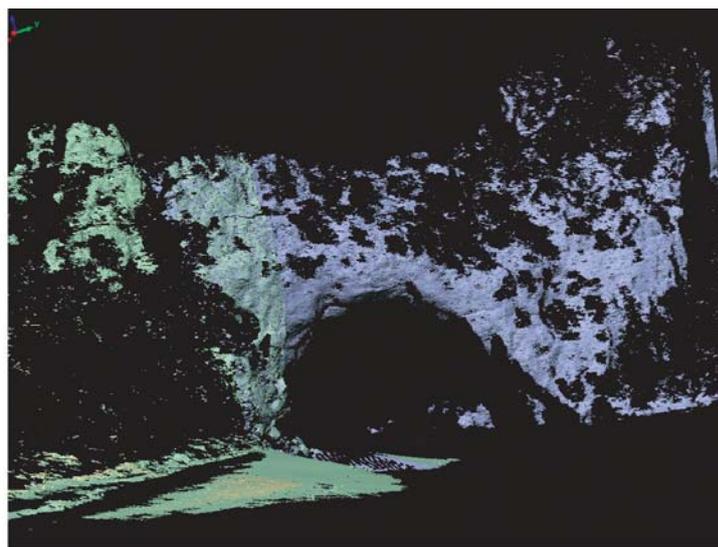


Figure 2 : Scanning du pont d'arc. A partir de la représentation 3D (image de droite), nous voulons analyser sa dynamique d'évolution depuis sa mise en place afin de reconstituer son aspect au fil du temps.

La différence de couleur sur l'image de droite provient de l'assemblage des différentes scènes de relevés. Les images sont encore en cours de traitement.

Par exemple, en observant les parois surplombant la grotte Chauvet (Figure 3), on observe une cicatrice d'écroulement dominant l'entrée préhistorique (Menneron 2003, Delannoy et al, 2004). L'écroulement de ce volume manquant à ce niveau de la paroi correspond à la cause de la fermeture de l'entrée préhistorique de la cavité. L'observation de terrain permet l'identification de cette forme, et constitue la première étape de notre travail de reconstitution. La deuxième se fonde sur l'analyse la plus précise (étude décimétrique) possible de la morphologie des parois.

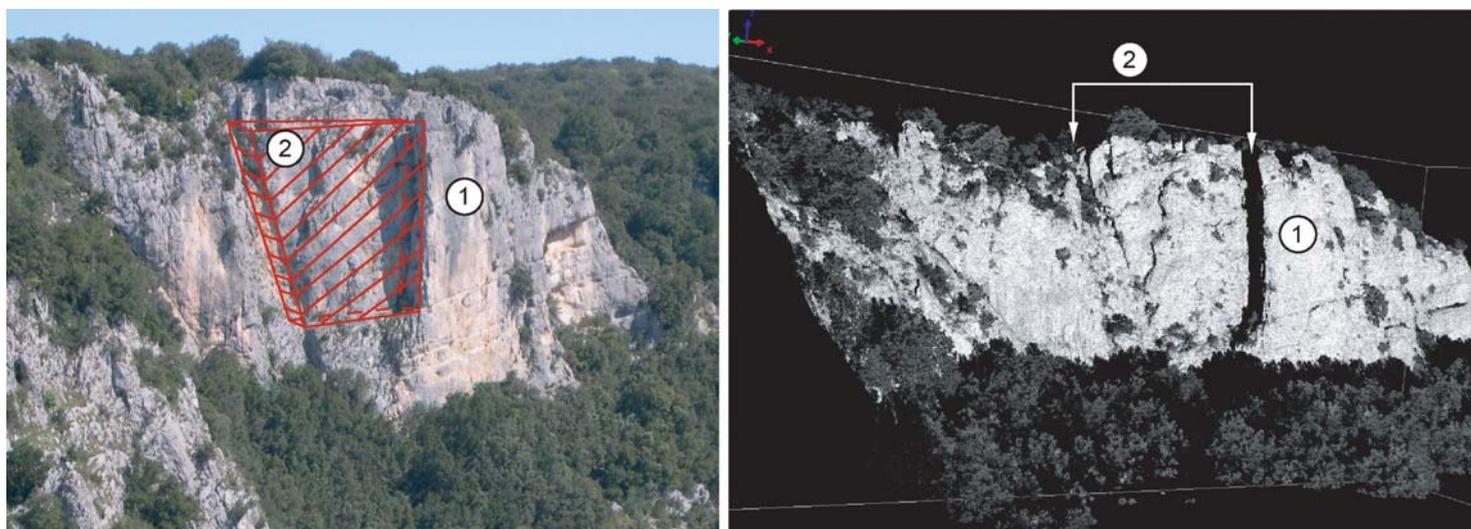


Figure 3 : Sur la photographie à droite, il est possible d'observer un décrochement (2) dans la continuité de la paroi (volume en rouge). Il correspond à la niche de l'écroulement responsable de la fermeture de l'entrée préhistorique. Avec les relevés de terrain restitués en 3D, il nous est possible d'effectuer sur cette portion de paroi des mesures correspondant au volume décroché. Ces mesures sont encore en cours de traitement. Actuellement c'est le rocher d'Abraham (1) qui menace de s'écrouler.

Il est alors possible de quantifier avec précision le volume rocheux écroulé et de reconstituer ainsi le plus fidèlement possible l'aspect de l'entrée préhistorique anté-écroulement. Ce modèle précis de reconstitution paléogéographique et paléoenvironnementales sera intégré à celui fait précédemment.

Nous pourrions alors nous représenter dans l'espace et dans le temps l'évolution de ce secteur de l'Ardèche à différents temps géologiques et aux temps des occupations humaines répondant ainsi à des problématiques pluridisciplinaires.

Bibliographie :

- DELANNOY JJ., 1997 – Recherches géomorphologiques sur les massifs du Vercors et de la transversale de Ronda (Andalousie), les apports morphogéniques du karst, thèse d'état, Septentrion presses universitaires, 678 p
- DELANNOY JJ., DEBARD E., FERRIER C., KERVAZO B., PERRETTE Y., 2001 – Contribution de la cartographie morphologique souterraine dans l'étude spéléogénique de la grotte Chauvet. Premiers éléments spéléogéniques et implications paléogéographiques, préhistoriques et paléontologiques, Quaternaire, 12, pp 235-248
- DELANNOY JJ., PERETTE Y, DEBARD E., FERRIER C., KERVAZO B., PERROUX AS., JAILLET S., QUINIF Y., 2004 – Intérêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale – la grotte Chauvet (Ardèche – France), Karstologia 44, pp. 25-42
- JEANNIN PY., 1996 – Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques, thèse de doctorat, université de neuchatel, 237 p
- MENNERON Y., 2003 – Étude géomorphologique du cirque d'Estre (Vallon pont d'Arc – Ardèche) – Mémoire d'IUP – Université de Savoie, 55 p
- MOCOCHAIN L., 2002 – Utilisation des marqueurs chronostratigraphiques miocènes et pliocènes pour l'étude karstologique et hydrologique du Bas Vivarais (Ardèche – France), mémoire de DEA, Université de Provence, 42 p
- MOCOCHAIN L., CLAUZON G., BIGOT JY, BRUNET P., 2006 – Geodynamic evolution of the peri-Mediterranean karst during the Messinian and the Pliocene: evidence from the Ardèche and Rhône Valley systems canyons, Southern France, Sedimentary Geology, Volumes 188-189, pp219-233
- SADIER B., 2005 – La morphogenèse karstique. Apports de l'approche multi échelle de la géométrie des systèmes karstiques. Master 2 Géographie Université de Savoie, 25 p

APPORTS DE LA SPATIALISATION DE DONNEES PALYNOLOGIQUES ET ARCHEOLOGIQUES SOUS SIG A LA RECONSTITUTION DES DYNAMIQUES VEGETALES DES PYRENEES FRANÇAISES, EXEMPLE POUR LA TRANSITION NEOLITHIQUE-AGE DU BRONZE.

Anne Le Flao

Laboratoire GEODE, UMR CNRS 5602, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse cedex 9, France.

Résumé

L'histoire de l'environnement des Pyrénées françaises faisant l'objet depuis longtemps déjà d'études interdisciplinaires, le besoin et l'intérêt d'une étude de synthèse sont apparus. Pour cela, nous proposons de gérer et d'articuler les données polliniques des tourbières pyrénéennes et les données archéologiques pour la période allant de la fin du Mésolithique jusqu'au début de l'Antiquité. Au-delà de la compilation de données (dans une base de données), notre objectif est de spatialiser, de cartographier sous SIG les dynamiques de la végétation et de mettre en exergue les traces laissées par les pratiques agro-pastorales néolithiques.

Mots-clés

Palynologie ; archéologie ; Pyrénées ; base de données ; SIG ; Mésolithique ; Néolithique ; histoire de l'environnement ; spatialisation ; anthropisation.

Introduction

Une discipline naturaliste telle que la palynologie ne peut pas expliquer, seule, l'évolution des milieux. C'est au croisement des regards de spécialistes que l'histoire de l'environnement prend forme et la chaîne des Pyrénées est depuis longtemps déjà le terrain d'études de botanistes, d'historiens, de sociologues, de géographes et d'archéologues. Mais cet héritage interdisciplinaire des premiers spécialistes des Pyrénées tel H. Gaussen (sa thèse porte sur la végétation de la moitié est des Pyrénées, 1926) ne se révélera que tardivement.

Le premier jalon de la palynologie pyrénéenne est posé en 1974 par G. Jalut (réflexion sur l'évolution de la végétation des Pyrénées méditerranéennes en lien avec le climat et les impacts anthropiques). Dans cette lignée, D. Galop présente, en 1998, une thèse où il place d'emblée l'homme et ses activités au cœur de la recherche paléoenvironnementale. D'autres études sont entreprises ayant pour cadre diverses zones des Pyrénées (Mardones, 1982 ; Pages, 1982 ; Andrieu, 1991 ; Aubert, 2001 et Belet, 2001).

Les études mixtes pionnières concernent la palynologie et l'anthracologie (Davasse et Galop, 1989, dans les Pyrénées ariégeoises). L'expérience a été reproduite en Cerdagne dans le cadre d'une étude historique et archéologique de la montagne pastorale d'Enveig (Rendu, 2003). Cette association de la palynologie et de l'archéologie constitue aujourd'hui un axe de recherche très dynamique auquel l'étude présentée ici appartient.

Fort de ce cadre scientifique riche, c'est tout naturellement que notre choix s'est porté sur la zone des Pyrénées pour tester des outils informatiques modernes tels que la base de données et le SIG. D'une part, un recensement des analyses et des études pyrénéennes s'avère nécessaire et d'autre part, les programmes de recherches pluridisciplinaires récents réclament la création d'outils adaptés. De plus, les portées spatiale et temporelle spécifiques des diverses données concernées désignent le SIG comme un outil incontournable.

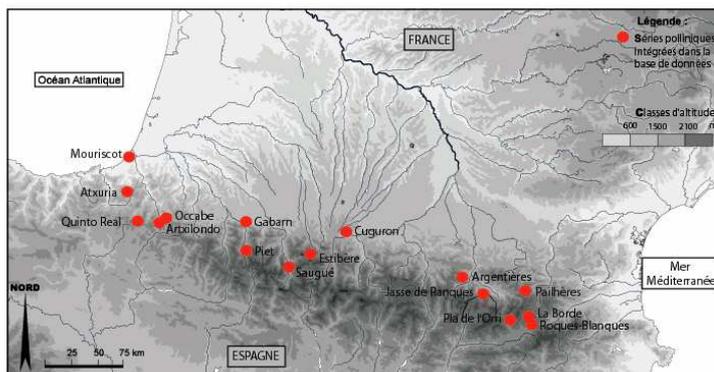
Les dynamiques végétales sont enregistrées par la palynologie et ce sont ces données qui, cartographiées, devraient nous permettre de mieux appréhender l'histoire de la végétation pyrénéenne depuis le Tardiglaciaire. Nous nous interrogeons sur la mise en place de la forêt tempérée il y a environ 20 000 ans puis sur les modifications du couvert végétal induites par les premières populations d'agriculteurs. Nous comparons ces informations aux données archéologiques pour la période allant de la fin du Mésolithique jusqu'au début de l'Antiquité. De cette confrontation, nous espérons voir émerger des pistes explicatives aux variations de valeurs visibles dans les analyses palynologiques. Dans le cadre du projet de recherche interinstitutionnel « Rythmes et causalités des dynamiques de l'anthropisation en milieu montagnard. L'exemple de la construction des territoires pyrénéens de la fin du Mésolithique à l'aube de notre ère » (ACR dirigée par D. Galop, L. Carozza et N.

Valdeyron), notre étude propose des solutions pour aider à représenter ce morceau de l'histoire de l'environnement des Pyrénées.

Données

Les tourbières pyrénéennes comme archives des végétations passées

Les données à la base de l'étude sont les analyses palynologiques des tourbières du versant français des Pyrénées (cf. carte des sites utilisés pour cette étude ci-dessous). Cet accès aux données palynologiques fossiles se fait par le biais de collaborations puisque ce sont des analyses datant de 1970 à aujourd'hui (G. Jalut, D. Galop, J.-M. Belet). Les données palynologiques modernes sont elles en cours d'acquisition.



A partir des feuilles de comptage et des datations radiocarbone, nous réalisons un modèle âge-profondeur pour dater tous les niveaux analysés et nous calculons les moyennes des valeurs des taxons pour les périodes qui nous intéressent. Ce sont ces données préalablement triées qui sont insérées dans le SIG. Là, elles sont à nouveau triées et sélectionnées par des requêtes en vue d'être cartographiées. Les cartes sont réalisées sous forme de séries « thématiques » se succédant chronologiquement. A partir de ces supports, rapprochements, commentaires et hypothèses sont émis et discutés.

Sur la trace des pratiques agro-(sylvo)-pastorales néolithiques en Pyrénées

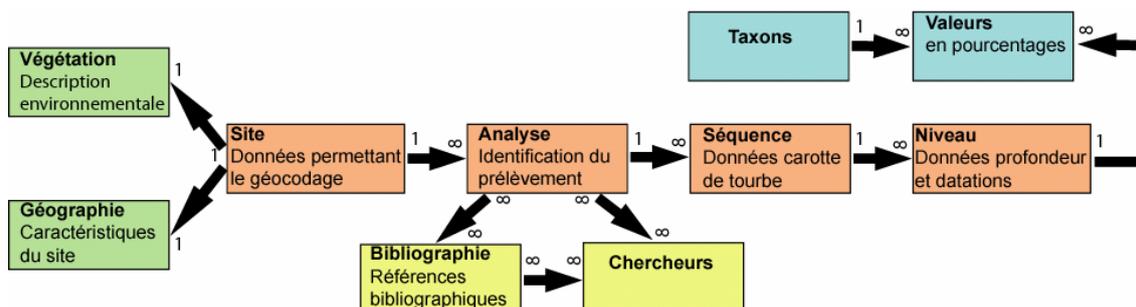
Notre étude travaille également avec les données archéologiques attestant de la présence humaine dans la zone concernée (extractions des bases de données Patriarche des SRA Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon...). Ces informations sont comparées aux renseignements sur l'état de la végétation et nous essayons de percevoir les cas de figure où la présence humaine et donc celle de pratiques agro-(sylvo)-pastorales semblent être le facteur explicatif principal des évolutions des dynamiques forestières.

Méthode et mise en œuvre

La base de données pour synthétiser les acquis

L'apparition des recherches interdisciplinaires ayant fait naître de nouveaux besoins, les supports techniques se diversifient. La création d'une base de données est une réponse dans notre cas au besoin d'organiser une mémoire paléoenvironnementale.

Schéma d'organisation de la base de données (état non définitif) :



Dans la base de données, nous avons souhaité préserver le plus possible des données « brutes » qui l'alimentent. En effet, nous devons pouvoir parer à toute évolution éventuelle des besoins en terme de précision des données sources et de demande en terme de fiabilité et de restitution graphique. C'est pourquoi les fréquences polliniques brutes, niveau par niveau, préexistent dans la base à côté des datations radiocarbone non encore calibrées. Les données sont ensuite travaillées avant d'être intégrées au SIG : les modèles âge-profondeur sont réalisés à partir des datations calibrées avec Calib 5.0.1 (M. Stuiver, P. J. Reimer, R. Reimer). Les données sont ensuite interrogées au moyen des requêtes, par exemple :

- « quelles sont les valeurs de *Fagus*, *Quercus* et *Abies* autour de 6000 cal BP ? »

- « quelle est la moyenne des valeurs des taxons arboréens des sites des Pyrénées orientales à basse altitude au Mésolithique final puis au début du Néolithique... ? »

- « à quelles dates sont enregistrées les premières occurrences de *Plantago lanceolata* sur la chaîne ? »

Les résultats des requêtes sont ensuite exprimés graphiquement.

La BD « Paléopyr » ayant précédé le SIG, cela a été le moyen de vérifier la pertinence des premières cartes manuelles issues de requêtes sous Access.

Le recours au SIG se justifie principalement en terme de « facilité » d'exploitation par rapport à la cartographie manuelle. La recherche portant sur l'observation d'évolutions spatiales et temporelles, la solution de la série de cartes chronologiques thématiques semble être la plus pertinente. Or cela demande que l'articulation entre le corpus de données (la base de données), son interrogation et sa restitution graphique soient les plus pratiques et les plus « rapides » à l'utilisation. Récemment nous avons commencé la confrontation graphique des données palynologiques avec des données archéologiques et la base de données commence à accueillir les tables se rapportant aux informations archéologiques.

Le SIG

En terme de logiciel, notre choix s'est porté sur Arcgis dans la mesure où ses capacités garantissent la possibilité de réaliser notre projet et où son utilisation demeure relativement souple.

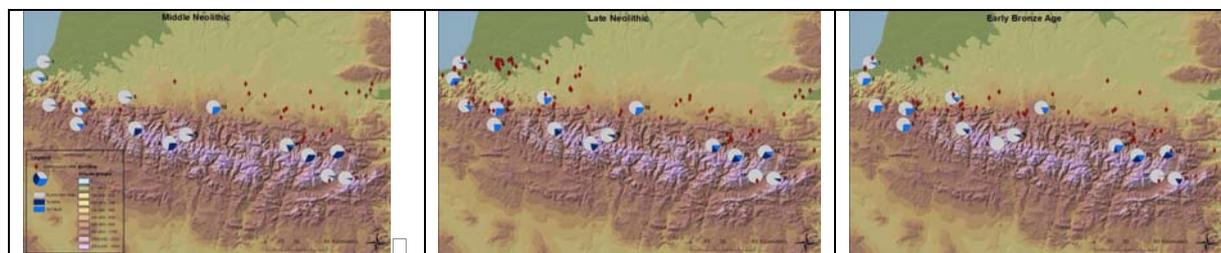
L'emploi du SIG pour manipuler des données appartenant à différentes disciplines s'avère un choix payant même s'il faut rester prudent quant à la spatialisation des valeurs polliniques notamment. En effet, si la palynologie permet de restituer une image passée de la végétation environnante d'un site, elle donne certes des informations dans la durée mais, par nature, elle est une information régionale et non locale. Il est donc impératif de contourner cet état de fait et de chercher une façon de spatialiser la donnée sans raccourcis ni biais.

Les pourcentages par espèces comptés au microscope niveau par niveau ne constituent effectivement qu'un écho de la végétation. Cette image englobe les pluies polliniques des végétations locale, voisine et régionale. Sur le modèle synthétique de provenance des pollens par rapport à la taille des sites, proposé par Jacobson et Bradschaw (1981) et d'après D. Galop (1998) « il semble que de petits bassins sédimentaires soient plus adaptés à une analyse locale ». Ces valeurs sont caractéristiques des disparités de la pollinisation propres à chaque espèce et des particularités du site de prélèvement, qui vont influencer la dispersion et le transport de la pluie pollinique. Toutes ces limites requièrent un traitement spatial spécifique des échantillons : la calibration des valeurs fossiles grâce à un référentiel pollinique actuel (cf. travaux de J. Heim pour la méthode en 1970 et thèse de F. Mazier pour une application récente). Ce référentiel permettra de définir les valeurs polliniques seuils, c'est à dire les valeurs caractéristiques dont la signification est connue (végétation dense, lointaine... à partir de telle fréquence pollinique pour telle région). A terme ces valeurs pourront être représentées sous la forme de cartes de la végétation passée matérialisée par des courbes isochrones, sur le modèle développé dans l'atlas de Huntley et Birks. Les prélèvements contenant la pluie pollinique actuelle sont en cours et réalisés sur une trame la plus régulière et fine possible sur le versant français des Pyrénées en tenant compte de tous les cas de figures pouvant être discriminants sur le modèle des caractéristiques des tourbières prélevées (gradient est-ouest, altitude, superficie du site de captage...). L'interpolation linéaire ou surfacique des valeurs par le biais d'un modèle permettra par la suite de ne plus être limité par l'aspect ponctuel des données.

Résultats

Après une série de premiers tests concluants portant sur la spatialisation des valeurs de certains taxons arboréens, nous avons débuté les essais de corrélations cartographiques entre les données archéologiques et palynologiques. Nous présentons ici un exemple des résultats obtenus avec la spatialisation des valeurs du hêtre et du sapin et des données archéologiques (incomplètes car en cours d'acquisition). Le but est d'évaluer si la

quantification des impacts humains sur l'environnement est possible. Les modifications de rythme de vie liées à la néolithisation des populations mésolithiques pyrénéennes ont généré une pression telle sur le milieu que le paysage forestier en a été modifié. Ces changements se traduisent en terme de densité des peuplements et de variété des espèces. Les transformations ont touché le cœur même des écosystèmes jusque là soumis à des processus d'origine naturelle.



Au Néolithique moyen, *Fagus* a déjà commencé son expansion et s'étend vers l'ouest sur le piedmont des Pyrénées Centrales. Le facteur anthropique ne semble pas être de première importance durant cette phase d'expansion. Bien que les données archéologiques ne soient pas complètes, le développement le plus important de *Fagus* se trouve dans une zone moins densément peuplée comparativement aux Pyrénées Orientales. Or une des hypothèses concernant le développement de *Fagus* est qu'il est un corollaire d'abandon de terres défrichées puis cultivées (Björkman, 1999; Delhon et Thiébault, 2005).

Les plus fortes augmentations des valeurs de *Fagus* sont enregistrées sur des tourbières où de nombreux artefacts tardi-néolithiques ont été enregistrés. La fin du Néolithique est le moment où l'on perçoit un clair développement du hêtre sur l'ensemble de la chaîne, à l'ouest mais aussi dans la partie est, dans un contexte d'augmentation et de maintien des occupations des vallées et du piedmont. Ceci renvoie encore à cette idée d'un déterminisme anthropique du développement de *Fagus*.

La diminution des occupations humaines est peut-être due au manque de données archéologiques actuellement disponibles dans la base de données; même si nous pouvons observer une intemporalité des occupations de la montagne. Pendant ce temps, *Fagus* est bien établi et devient l'espèce dominante du versant nord, essentiellement dans les régions ouest et centre, alors qu'il reste en position secondaire au sein de la forêt des Pyrénées Orientales.

Discussion et conclusion

L'histoire de l'environnement montre la mise en place millénaire de processus lents et successifs qui touchent les ensembles végétaux. Malgré une linéarité apparente des événements, il faudrait plutôt imaginer une suite de mouvements pulsatiles d'expansions et de rétractions, au gré des variations climatiques: c'est-à-dire des phénomènes arythmiques.

Il existe une réelle difficulté à saisir toutes les modalités des dynamiques temporelles et surtout à les restituer. Pourtant, après une interrogation des méthodes et des moyens de restitution, les outils base de données et SIG commencent à se révéler des supports de l'information valables et performants. Plus encore, la limite spatiale inhérente à la nature de la discipline palynologique aurait tendance à pouvoir être contournée, offrant ainsi des perspectives très intéressantes aux études interdisciplinaires.

A l'heure actuelle, nous complétons la trame des informations sur la chaîne pyrénéenne (séquences polliniques fossiles, prélèvements actuels, données archéologiques...). Nous procédons également à des réajustements fonctionnels des modes de saisie des données à la fois pour la base de données et pour le SIG. Au fil des utilisations, il est apparu que certaines maladresses de conception rendaient les étapes de saisie bien trop longues. La standardisation des fichiers sources et l'automatisation de certains transferts vont permettre de gagner du temps.

Bibliographie

- ANDRIEU V., 1991, *Dynamique du paléoenvironnement de la vallée montagnarde de la Garonne (Pyrénées Centrales, France) de la fin des temps glaciaires à l'actuel*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse II : 330 p.
- AUBERT S., 2001, *Limite supérieure de la forêt, climat et anthropisation: dynamique tardiglaciaire et holocène de la végétation dans la vallée du Marcadau (Hautes-Pyrénées, France)*. Thèse de doctorat, Université Toulouse III : 365 p.
- BELET J.-M., 2001, *Variations tardiglaciaire et holocène de la limite supérieure de la forêt dans les Pyrénées Centrales : l'exemple du vallon d'Estibère (Hautes-Pyrénées, France)*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse III : 241 p.
- BJÖRKMANN L., 1999, The establishment of *Fagus silvatica* at the stand-scale in southern Sweden. *The Holocene*, 9, 2 : 237-245.
- DAVASSE B. et GALOP D., 1989, Le charbon de bois et le pollen : éléments pour une approche de l'évolution historique du paysage forestier dans les Pyrénées ariégeoises. *Acta biol. mont.*, IX : 333-340.
- DELHON C. et THIEBAULT S., 2005, The migration of beech up the Rhone : the Mediterranean history of a « mountain » species. *Veget. Hist. Archaeobot.* 14 : 119-132.
- GALOP D., 1998, *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. GEODE, Laboratoire d'Ecologie Terrestre, FRA.M.ESPA, Toulouse : 285 p.
- GAUSSEN H., 1926, Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Sol, climat, végétation, *Bull. Soc. Hist. Nat. De Toulouse*, LV : 564 p.
- HEIM J., 1970, *Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*. Université de Louvain, 181 p.
- HUNTLEY B. et BIRKS H. J. B., 1983, *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13000 years ago*. Cambridge University Press : 667 p.
- JACOBSON G.L. et BRADSCHAW R.H.W., 1981, The selection of sites for palaeovegetational studies, *Quaternary Research* (16): 80-96.
- JALUT G., 1974, *Evolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées*. Thèse d'Etat, Université P. Sabatier, Toulouse : 176 p.
- MARDONES M., 1982, *Le pléistocène supérieur et l'Holocène du piémont de Lourdes : le gisement de Biscaye (Hautes-Pyrénées, France). Etude palynologique, sédimentologique et géomorphologique*. Thèse de doctorat, Université P. Sabatier : 100 p.
- MAZIER F., 2006, *Modélisation de la relation entre pluie pollinique actuelle, végétation et pratiques pastorales en moyenne montagne (Pyrénées et Jura). Application pour l'interprétation des données polliniques fossiles*. Université de Franche-Comté, 226 p.
- PAGES P., 1982, *Histoire de la végétation en Haute vallée d'Ossau*. Mémoire de DEA, Université P. Sabatier : 45 p.
- RENDU Ch., 2003, *La montagne d'Enveig – Une estive pyrénéenne dans la longue durée*. Editions Trabucaire, Canet : 606 p.

L'ANALYSE SPATIALE EN 3D ET SON APPORT A LA PROSPECTIVE URBAINE**Marie Sevenet**

Doctorante en Géographie UMR ESPACE
98, Bd Edouard Herriot - 06204 Nice Cedex
0493375464
marie.sevenet@gmail.com

Résumé :

Le besoin croissant d'espace ainsi que la mise en place d'une législation visant à maîtriser l'étalement urbain incitent les collectivités à densifier le tissu urbain. Les opérations de reconstruction de l'habitat qui se multiplient, entraînent une augmentation des hauteurs des bâtiments dans les limites autorisées par les documents d'urbanisme. Toute prospective urbaine doit donc désormais intégrer dans sa démarche d'anticipation des devenir des îlots urbains des analyses de l'évolution du bâti en 2D et en 3D.

Autrefois, peu utilisée dans la prospective urbaine, par manque de données, la 3^{ème} dimension a désormais sa place dans les études d'aménagement, grâce au développement de la télédétection. Diffusion de l'information et nécessités d'aménagement urbain ouvrent des perspectives de travail. Une information géographique 3D fine permet de simuler les transformations du bâti pour proposer aux collectivités une aide à la décision. L'analyse porte sur les impacts possibles d'une nouvelle ligne de tramway sur la hauteur du bâti dans les zones avoisinantes. Des simulations sous environnement SIG sont réalisées afin d'estimer les impacts possibles sur les plans environnemental, morphologique et fonctionnel sont mesurables à travers : la surface utile dégagée, l'impact sur la pollution, le bruit, l'ensoleillement et la visibilité.

Mots-clés : 3D, SIG, modélisation

L'intégration des principes du Développement Durable dans la législation (Loi Solidarité et Renouvellement Urbain, Loi Urbanisme et Habitat) a suscité de nouvelles problématiques urbaines. Les villes ont connu une forte croissance et se doivent de maîtriser leur étalement à l'avenir. Cet impératif va pourtant à l'encontre des processus socio-économiques actuels, puisque la raréfaction des espaces à urbaniser entraîne une augmentation du prix du foncier qui accentue, un peu plus, la crise du logement. La densification et/ou la surélévation du bâti existant semble être une réponse appropriée mais cette option ne bénéficie pas d'une image positive auprès des habitants (confinement, pollution atmosphérique, bruit...). Face à ces nouvelles prescriptions, l'analyse des formes urbaines doit intégrer la troisième dimension (c'est-à-dire la dimension verticale des éléments géographiques, naturels ou anthropiques) car le bâti est constitué d'une emprise au sol mais aussi d'une élévation.

Les méthodes d'analyse spatiale, utilisées à ce jour en prospective urbaine, intègrent peu la troisième dimension. Or l'attente de telles méthodes est forte dans le contexte actuel. Le travail envisagé dans notre thèse (*La 3D en analyse spatiale : nouvelles méthodes appliquées aux territoires urbanisés*, sous la direction de Mme C. Voiron, débutée en octobre 2005) est d'intégrer la 3D dans de nouvelles méthodes d'analyse spatiale pour fournir une aide à la décision aux gestionnaires de la ville. Ces méthodes seront destinées à déterminer les modalités du développement actuel des aires urbaines et à procéder à une géoprospective territoriale. Ainsi, par des simulations de la croissance du bâti dans sa double dimension (verticale et horizontale), il est possible d'anticiper la croissance des aires urbaines à différentes échelles, d'en mesurer les conséquences sur les plans spatial, morphologique et fonctionnel, et enfin de relier ces simulations des transformations urbaines avec les politiques d'aménagement déterminés par les collectivités territoriales ou en cours d'élaboration. Finalement, la question centrale de la thèse est de savoir, compte tenu des différentes transformations possibles (extension, surélévation, rénovation,...), quelle est la configuration urbaine optimale (qui répond à la demande en terme de surface sans produire de nouvelles nuisances) ?

La mise en place d'une infrastructure majeure, comme une ligne de tramway, a des répercussions sur le fonctionnement et la morphologie du quartier traversé – activités, population résidente, prix des logements, volume et forme des îlots – et ce, d'autant que des opérations d'urbanisme accompagnent généralement la création de l'infrastructure. Dans cet article, nous nous intéresserons au tramway en construction dans la ville de

Nice et à ses impacts possibles sur un de ces aspects : la hauteur du bâti. Dans un premier temps, nous présenterons le contexte et le choix de la zone d'étude ; puis nous expliquerons, en deuxième partie, la démarche modélisatrice qui conduira à l'aide à la décision.

1. Le quartier de Saint-roch à Nice : entre potentialités et contraintes.

La ville de Nice fournit un excellent terrain d'étude à l'analyse de la croissance urbaine, de par son histoire (planification urbaine précoce, héliotropisme), sa situation géographique (climat, topographie accidentée) et la forte pression foncière qui s'y déroule, liée à une compétitivité accrue sur un espace restreint.

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur le quartier du Saint-Roch à l'est de Nice (figure n°1).

Ce quartier présente des avantages morphologiques (figure n°2) : d'une part il se situe sur l'une des rives du Paillon, le fleuve qui traverse la ville, ce qui en fait une zone relativement plane ; et d'autre part, le bâti est dense mais assez hétérogène (des maisons de deux ou trois étages au sud et du collectif d'une dizaine d'étages au nord). Par ailleurs, pendant longtemps, ce quartier a eu une vocation industrielle, aujourd'hui en déclin, ce qui explique que son paysage est jalonné par des bâtiments à l'abandon essentiellement le long de la voie de chemin de fer au nord-est. Il s'agit donc un quartier en crise, qui fait actuellement l'objet d'une réhabilitation.

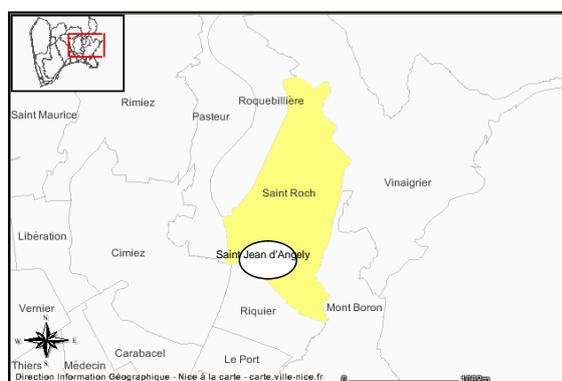


Figure 1 : Quartier de Saint-Roch
(source : www.nice.fr)



Figure n°2 : Elévation du bâti

En effet, le projet de la ville est de renforcer l'accessibilité de cette zone avec le passage du tramway et de faire de ce quartier un véritable pôle universitaire qui faisait défaut à la 5^{ème} ville de France. Le projet se veut global puisqu'il intervient sur les deux principaux constituants du tissu urbain : le réseau et le bâti. Le « modèle de reconquête urbaine »^[1] de Saint Jean d'Angely (figure n°1) se fonde sur la restructuration des friches industrielles et militaires afin de développer un nouveau pôle de vie urbaine (infrastructures scolaires, logements pour étudiants et actifs, commerces, hôtel, jardins...) sur plus de 15000 m².

Cette réhabilitation, par l'attractivité qu'elle produit, devrait générer de la pression foncière sur tout le quartier. Dans ce quartier où la densité du bâti est déjà très élevée, la surélévation des bâtiments existants apparaît comme une des seules possibilités pour accueillir la population, autant au travers de la construction que de la reconstruction de logements plus hauts.

L'étude qui suit repose sur l'hypothèse que la nouvelle ligne de tramway augmente l'attractivité du quartier traversé, ce qui se traduit par une hausse de la valeur des biens et, à terme, par une élévation des hauteurs des bâtiments se trouvant dans le périmètre.

2. Vers une démarche d'aide à la décision pour densifier de manière optimale l'espace urbain.

Ce travail se veut géoprospectif car l'objectif est de proposer des scénarios d'évolution du bâti en adéquation avec une certaine démarche, et d'en mesurer les coûts et les avantages. C'est l'ensemble de cette démarche qui vous est proposé ci-dessous. La simulation de la surélévation du bâti soumis à la pression foncière constitue la première étape de la démarche. Dans un deuxième temps, les conséquences de ces transformations sur les plans

[1] <http://www.nice.fr> >Nice.Metropole>Urbanisme>Les grands projets

environnemental, morphologique et fonctionnel sont mesurées à travers: la surface utile dégagée, l'impact sur la pollution, le bruit, l'ensoleillement.

2.1 Simulation de la surélévation du bâti

L'attractivité créée par une infrastructure de transport valorisante à l'image du tramway (non polluant, silencieux, moderne...) se traduit par un accroissement de la pression foncière. Par rapport à la taille de notre zone d'étude, nous formulons l'hypothèse que la pression foncière s'étirera jusqu'à 100 mètres autour du tracé (Figure n°3).

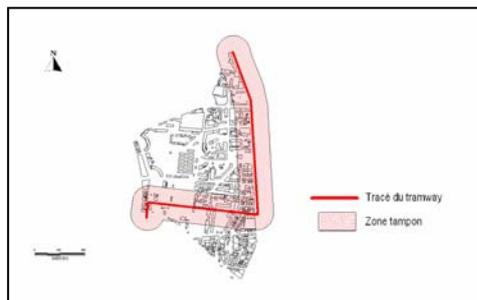


Figure 3 : Bâtiments soumis à la pression foncière représentée par la zone tampon

La surélévation doit tenir compte de deux contraintes : les besoins en terme de logements et les limites imposées par les prescriptions d'urbanisme. Pour connaître la réglementation en vigueur concernant la zone d'étude, il faut se référer au Plan Local d'Urbanisme (s'il a été accepté) ou au Plan d'Occupation du Sol. Pour chaque zone, définie dans ces documents, est inscrite une hauteur maximum du bâti : par exemple, les zones urbaines de Nice ont été divisées en six dans le POS, trois d'entre elles concernent la zone d'étude, deux limitent la hauteur à 21,5 mètres et une à 28 mètres. Cette hauteur limite offre un potentiel de développement entre l'existant et le maximum, nous avons donc choisi d'élever tous les bâtiments qui y sont inférieurs.

La simulation est réalisée sous Système d'Information Géographique. En effet, cet outil permet, outre la collecte et la gestion, l'analyse et la modélisation de différentes informations spatiales, combinées pour résoudre des problématiques d'aménagement. Dans notre cas, le SIG nous permet de représenter le bâti en interaction avec des caractéristiques du quartier et de produire une nouvelle information correspondant à la surélévation du bâti.

Dans cette simulation, le SIG intègre l'emprise au sol et le Modèle Numérique de Surface. Le MNS est une représentation précise du sol et du sur-sol (secteurs boisés, bâtiments, ponts et autres structures). L'intérêt de cette recherche portant sur le bâti, seules les informations le concernant sont conservées, le sol est donc soustrait. De cette manière, chaque bâtiment est renseigné par deux attributs : sa surface et sa hauteur. La simulation peut alors débuter par la surélévation des bâtiments compris dans la zone tampon, pour ce faire, la hauteur maximum dictée dans le POS (soit 21.5 ou 28 mètres) est appliquée aux bâtiments inférieurs à cette limite. Cette simulation permet d'établir un modèle prospectif en 3D de la zone d'étude.

2.2 Mesures des gains d'élévation



	Bâtiments portés à 21,5 m	Bâtiments portés à 28 m	Totale
Quartier	26,4	2,4	28,8
Buffer	63,2	5,8	69,0

Figure 4 et tableau 1 : Part de l'emprise au sol des bâtiments surélevés

La simulation révèle que près de 70% de l'emprise bâtie située à 100 mètres du tramway (Figure n°4) ou un tiers de l'ensemble du quartier pourrait être surélevée. Cette transformation de la morphologie urbaine répond à un besoin : créer de la surface utile sans trop étendre la surface urbanisée en accord avec les principes du développement durable. Par conséquent, malgré la densité du quartier, il reste encore des possibilités importantes de construction. Il est indéniable que surélever le bâti, c'est dégager de la surface supplémentaire. Pour calculer les gains de surface de plancher, la hauteur définie par la simulation est soustraite à la hauteur réelle puis cette hauteur « gagnée » est divisée par la hauteur moyenne d'un étage pour obtenir le nombre de nouveaux étages. La surface de plancher est donnée par la multiplication du nombre d'étages adjoints et de la surface au sol.

Surface gagnée			Surface de plancher				
Nombre d'étages gagnés (E)	Surface de plancher (S)	Part de S dans E	Totale avant	Total après	Buffer avant	Buffer après	
H+1	14264	17	Valeurs brutes	1409106	1494543	538703	624140
H+2	38319	45					
H+3	16863	20	Taux de croissance		6,1		15,9
H+4	14320	17					
H+5	1671	2					
Totale	85437	100					

Tableaux 2 et 3: Surface utile dégagée par le processus de surélévation

La simulation met en évidence que la surélévation maximum permettrait de créer 16 % de surface de plancher supplémentaire soit 85 437 m². Pour donner un exemple, si arbitrairement, nous considérons qu'un appartement de deux pièces fait 50 m², la surface dégagée par les transformations du bâti permettrait d'en construire environ 1700. La réglementation précise, pour chaque type de logement (c'est-à-dire le nombre de pièces par logement), une surface minimale. A partir de là, différentes simulations peuvent être réalisées sur la ventilation de la surface constructible en type de logements. En fonction du nombre moyen de personnes par types de logement, une estimation des gains de population est possible.

2.3 A quel prix surélever le bâti ?

Cependant les gains produits par les surélévations ne seront-ils pas annulés par les nuisances (pollution de l'air, bruit, baisse de la luminosité...) ? C'est pour cette raison qu'il nous a paru pertinent de mesurer la surface utile obtenue grâce à ces transformations mais aussi d'analyser l'impact de la surélévation sur la qualité de vie. La surélévation est, certes, une réponse envisageable aux besoins en terme de logements, mais elle modifie la configuration du bâti c'est-à-dire l'agencement entre pleins et vides. Il a été démontré que la morphologie urbaine interagit avec l'environnement ^{[2][3]} ^[4]; par exemple, la surélévation de l'ensemble des bâtiments encadrant une rue crée un confinement : la pollution atmosphérique et le bruit sont accentués, la durée de l'ensoleillement de la rue se réduit... Dès lors, il s'agit d'estimer l'impact de cette transformation sur l'environnement urbain car l'objectif recherché par la maîtrise de l'étalement est aussi de préserver le milieu naturel. Pour évaluer ces impacts, il existe plusieurs outils : l'Indice de Construction de Landsberg^[5], par exemple, mesure le rapport entre la largeur de la rue et la hauteur du bâti, autrement dit, il caractérise une artère comme étant étroite ou au contraire large. Concrètement, si une rue est étroite, les polluants se disperseront plus difficilement et les ondes sonores se répercuteront. Dans le cas où le processus de surélévation atteint le maximum autorisé, l'ensemble des Indices de Landsberg est supérieur à 1 (tableau n°4), cela indique que l'ensemble des rues seront considérées comme étroites et confinées. De ce fait, les nuisances seront accentuées

^[2] G. Maignant, *Pollution et développement durable des villes françaises : étude de cas Nice, Marseille, Lyon et Paris*, Thèse de Doctorat de Géographie, Nice, 2002

^[3] C. Weber, « Formes urbaines et répartition des polluants », *Acte des Vème rencontres de Théo Quant.*, 2001

^[4] D.Siret, M.Musy, F.Ramos, D.Groleau, P.Joanne. « Développement et mise en oeuvre d'un SIG 3D environnemental urbain », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 16, n°1, pp. 71-91, 2006.

^[5] ib id [4]

puisqu'il n'est pas prévu sur la zone d'interdire la voiture. Seule, une nouvelle rue créée, où le trafic sera interdit, affichera un indice inférieur à 1.

Les chiffres en rouge correspondent aux valeurs qui concernent la zone du buffer.	Largeur de la rue en mètres				
	8	10	14	28	
Hauteur des bâtiments en mètres	21,5	2,7	2,1	1,5	0,8
	28	3,5	2,8	2	1

Tableau 4 : Calcul de l'Indice de construction de Landsberg sur la zone d'attractivité

Pour conclure, la mise en place d'une nouvelle infrastructure ou un projet de réhabilitation revalorisent et « embellissent » la zone concernée, cela fait naître une demande pour cet espace et ainsi augmente la pression foncière. Compte tenu de la densité élevée des villes, la surélévation des bâtiments sera, sans doute, la réponse à la croissance urbaine. La 3D nous permet aujourd'hui de simuler et d'anticiper l'impact de ces transformations sur les facteurs socio-économiques (potentiel de surface restant pour l'accueil de la population) et environnementaux du fonctionnement urbain. La simulation ci-dessus montre qu'il reste un certain nombre de vacuités à exploiter mais si l'utilisation actuelle de l'automobile reste constante, les nuisances qu'elle engendre seront renforcées dans cette nouvelle configuration urbaine. Il est donc nécessaire de coordonner les politiques publiques afin d'organiser le territoire de manière cohérente.

DYNAMIQUES SPATIALES DANS LA LONGUE DUREE : DU TISSU URBAIN AU BÂTI, DECONSTRUCTION DE L'ESPACE EN PLAN ET EN VOLUME

Bastien Lefebvre

Doctorant au Laboratoire Archéologie et Territoires,
UMR 6173 – CITERES, Université François-Rabelais de Tours
bastienlefebvre@wanadoo.fr

Sujet de thèse :

Formation et transformation d'un tissu urbain. De l'amphithéâtre antique au quartier canonial dans la cité de Tours (5e - 18e s.)

Mots-clés :

3D, amphithéâtre, archéologie urbaine, dynamiques spatiales, modèle HBDS, SIG, Tours

Résumé :

Pour travailler sur les dynamiques spatiales du tissu urbain implanté sur l'amphithéâtre antique de Tours, une réflexion doit être envisagée sur l'organisation des données mobilisées. Isolées, celles-ci (essentiellement architecturales) permettent en effet d'obtenir des renseignements significatifs mais ponctuels sur les occupations antérieures du site. L'analyse spatiale doit donc porter sur une mise en commun de ces informations. La modélisation des données selon la méthode HBDS apparaît comme une solution tout à fait efficace. Une déconstruction géographique des données historiques et archéologiques est alors nécessaire. Cette étape fondamentale permet en effet non seulement de rendre compte d'états successifs mais aussi des dynamiques spatiales.

Cet article présente à la fois le modèle conceptuel de la modélisation, mais aussi l'application rare de la méthode à des données 3D. L'implémentation du modèle sous SIG, ainsi que les premiers résultats issus de l'analyse spatiale sont également présentés et critiqués.

1 - Introduction

Traditionnellement l'étude des villes dans la longue durée consiste à créer des jeux de cartes topographiques à différentes époques (carte de la ville au haut Empire, au 9^e s., 14^e s...). Ce type de représentation se heurte à deux problèmes principaux pour l'archéologue qui veut travailler sur la fabrique d'une ville. D'abord le découpage est toujours construit *a priori*, fondé sur des connaissances historiques de la ville qui ne renvoient pas toujours à une réalité matérielle pertinente. Ensuite, il faut constater que ces cartes ne représentent que des instantanés et non des phénomènes longs ayant une durée : les dynamiques spatiales s'envisagent alors d'une manière empirique en comparant ces cartes.

Afin de pallier à ces manques, un article paru en 2004 dans la revue *Histoire & Mesure* propose un système de modélisation spatiale dans le but de pouvoir travailler plus spécifiquement sur les dynamiques spatiales des villes préindustrielles (Galinié, Rodier et Saligny 2004). En s'inspirant de la méthode théorique proposée par cet article, un SIG a été mis en place dans une étude consacrée à la formation et la transformation d'un tissu urbain, depuis l'amphithéâtre antique jusqu'à la fin du quartier canonial dans la Cité de Tours (soit du 1er au 18e s.). Cette application réalisée à plus grande échelle (le tissu urbain) s'appuie essentiellement sur des données architecturales et nécessite d'adapter la méthode à la problématique intrinsèque au sujet. Elle nécessite également une adaptation pour pouvoir travailler autant dans l'espace plan qu'en volume.

2 - Présentation du cadre historique et spatial de la recherche

L'amphithéâtre antique de Tours est certainement un des plus grands de Gaule : son importance dans la ville était telle qu'au bas Empire il fut intégré à l'enceinte, lui servant alors de bastion avancé. Dès lors l'édifice, inscrit dans le *castrum*, fut recouvert par le tissu urbain : enfin la ville du haut Moyen Age, puis le quartier cathédral avec son réseau de rues et de constructions a peu à peu colonisé l'amphithéâtre. Malgré sa réaffectation, l'édifice est aujourd'hui rémanent dans le tissu urbain ; beaucoup de structures sont toujours conservées, entremêlées dans l'accumulation de différentes constructions elles-mêmes anciennes. Ce double état de fait est particulier si on le compare aux autres villes d'origine antique, où l'amphithéâtre n'a que rarement guidé, autant qu'à Tours, la formation d'une partie du tissu urbain (cf. Fig. 1).



Fig. 15. Vue aérienne du quartier implanté sur l'amphithéâtre à Tours. Cliché Solaire Photo.

En confrontant les différentes sources disponibles (notamment le bâti), l'objectif est ici de comprendre la création de la ville à l'échelle d'un quartier en prenant en compte les particularités du lieu, puisque celui-ci est compris dans trois éléments fortement marqueurs de l'histoire de Tours : l'amphithéâtre, le *castrum* et le quartier canonial.

Les objectifs de cette étude réalisée à méso-échelle sont alors multiples :

1. comprendre l'articulation entre la ville antique et médiévale, en observant en particulier, les différentes étapes de la formation du tissu urbain médiéval sur un édifice public antique,
2. expliquer l'état de fait particulier de l'amphithéâtre de Tours : sa forte rémanence dans le tissu urbain actuel,
3. étudier les dynamiques spatiales, temporelles et fonctionnelles d'un quartier de la ville de manière diachronique. Quelles fonctions urbaines changent le plus ? à l'inverse lesquelles sont les plus pérennes ? où et quand cela se passe-t-il ? qui agit ?

3 – Définition d'un objet d'étude pour la ville et le tissu urbain

Au terme d'une série d'articles et d'ouvrages consacrés à l'appréhension de la ville par les archéologues, l'Entité Fonctionnelle (EF) fut retenue comme l'objet d'étude pertinent à l'échelle de la ville (pour une synthèse : Galinié, Rodier et Saligny 2004). En reprenant un principe défini par les géomaticiens (Saint-Gérard 2005 ; Thériault et Claramunt 1999), dans un essai consacré à la ville, H. Galinié propose que pour être valide chaque entité étudiée doit répondre à trois questions fondamentales (Galinié 2000) :

- sa localisation (où se trouve-t-elle ?)
- sa datation (de quand à quand existe-t-elle ?)
- son interprétation (qu'est-ce que c'est ?)

Il est important de noter que pour travailler sur les transformations urbaines chaque entité doit être rigoureusement définie par ces attributs, si l'un d'eux change, il est nécessaire de recréer une nouvelle entité.

Si l'entité fonctionnelle est pertinente à l'échelle de la ville, elle ne permet pourtant pas de réfléchir à l'échelle du tissu urbain ou de l'ilot, puisque l'interprétation de ces entités correspond aux valeurs d'usages définies à l'échelle de la ville par les travaux du Centre National d'Archéologie Urbaine (CNAU). Ainsi, un nouvel objet plus adapté à l'étude du tissu urbain a été créé : l'Elément Constitutif (EC). Il se définit comme une subdivision de l'EF (Fig.2). Il s'agit d'un type particulier d'occupation de l'espace : il s'agira de la cour, du jardin ou du logis qui sont des aménagements différents au sein d'un habitat (EF) (Lefebvre 2006 : 54).

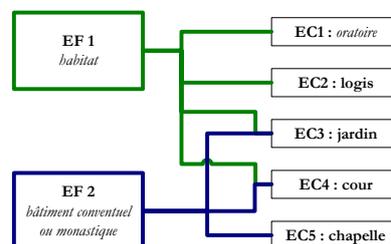


Fig. 2. Exemple d'organisation possible entre les entités fonctionnelles (EF) et leurs valeurs d'usage et les éléments constitutifs (EC) et leurs fonctions

4 – La modélisation spatiale

Le recours à la modélisation spatiale est rapidement apparu essentiel pour à la fois répondre aux différentes questions déjà évoquées (articulation amphithéâtre/quartier canonial, rémanence de l'amphithéâtre, dynamiques urbaines), mais aussi pour gérer un volume d'informations important.

4.1. La modélisation spatiale : la méthode HBDS

C'est la modélisation en HBDS (*Hypergraph Based Data Structure*) qui fut retenue. Cette méthode est due à F. Bouillé qui dans sa thèse : *Un modèle universel de banque de données simultanément portable, répartie* (Bouillé 1977) présente une modélisation reposant sur la théorie des graphes²⁸ et des hypergraphes, ainsi que sur la théorie des ensembles²⁹. Cette modélisation concerne « d'une part la structure des données, leur gestion, leur archivage, leur mise à jour, et d'autre part la structuration de l'information spatiale et aspatiale (thématique). Ces nouvelles approches sont apparues suite à un constat que les méthodes de type relationnel mises au point et utilisées dans le domaine de la gestion ne permettaient pas de prendre en compte d'une façon satisfaisante l'aspect géographique des « objets » c'est à dire, entre autres, la référence spatiale (longitude, latitude, type d'emprise, forme, voisinage...) comme composante intégrante de l'objet et non comme de simples attributs de l'objet » (Pirrot et Saint-Gérard 2005 ; Saint-Gérard 2005). Ainsi pour prendre en compte les propriétés géographiques des objets l'espace est découpé en graphes planaires topologiques sans isthme³⁰.

4.2 Le modèle conceptuel de données

L'étape de la création du modèle conceptuel de données (MCD) est essentielle et permet de faire le lien entre la problématique de l'étude et la construction du Système d'Information Géographique (SIG) (Pirrot et Saint-Gérard 2005 ; Saint-Gérard 2005).

La construction du modèle conceptuel de données permet de schématiser le fonctionnement d'un phénomène particulier. Ici, pour modéliser la construction d'un tissu urbain, quatre niveaux ont été défini : celui de la documentation, celui des données historiques pertinentes, celui des objets spatiaux et enfin celui des objets géométriques.

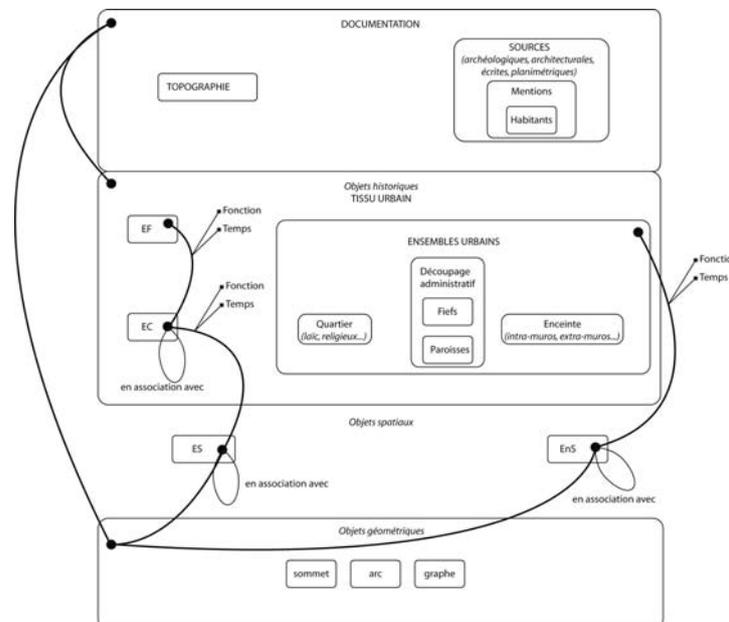


Fig. 3. Le modèle conceptuel de données (ici pour plus de lisibilité, seules les valuations des relations sont figurées). Le schéma est composé de classes et d'hyperclasses. Les *éléments constitutifs* (EC) ou les *entités fonctionnelles* (EF) forment par exemple chacun une classe. En revanche, le *Tissu urbain* est composé des EF, des EC et des Eu (*ensembles urbains*) : il constitue alors une hyperclass. Ces classes et hyperclasses sont réunies par des liens spatiaux ou sémantiques. Comme les classes, ces derniers peuvent être caractérisés par des valuations ou attributs.

4.3 Les dimensions et le découpage des objets géographiques (entités spatiales)

4.3.1 Les différentes dimensions des objets

Le modèle conceptuel de données fait donc appel à trois types d'objets :

1. les objets historiques (EC, EF, EU) qui ont déjà été présentés,

²⁸ Développée par C. Berge (Berge 1958)].

²⁹ Cette théorie consiste à utiliser la notion d'ensemble décrite par une collection d'objet dit « éléments » ; le sous-ensemble est alors une partie d'un tout, elle appartient à cet ensemble. En langage HBDS on parle de classes et d'hyperclasses.

³⁰ « Un graphe G est planaire s'il est possible de le représenter sur un plan de sorte que les sommets soient des points distincts et les arcs des courbes simples ne se rencontrant pas en dehors de leur extrémité. Un graphe planaire topologique est une représentation d'un graphe G sur un plan. Un graphe planaire topologique sans isthme est un graphe planaire topologique sans arc pendant » (définition issue de *Histoire & Mesure*, 2004, t. XIX-3/4).

2. les objets géométriques (sommets, arcs, et graphes) qui sont inhérents à la théorie des graphes,
3. enfin les objets spatiaux ES -Entités Spatiales- (et les EnS -Ensembles Spatiaux)

Cette dernière catégorie d'objet correspond à la représentation graphique des objets historiques et est définie dans le paragraphe suivant (§ 4.3.2). La problématique de l'étude ainsi que le type de données mobilisées dans la longue durée (qu'il s'agisse de données issues de topographie physique ou de données architecturales) demandent à travailler sur deux types distincts de représentation de ces objets historiques. Ainsi, un découpage en deux sous-types d'ES s'est avéré nécessaire pour matérialiser les objets historiques (EC). Avant de présenter dans le détail ces deux sous-types d'objets, il faut préciser qu'il fut choisi, vues les particularités du site de l'étude et des sources, de travailler dans un univers 3D (défini par les axes X, Y et Z). Cet univers est commun aux deux sous-types d'ES qui, complémentaires l'un à l'autre, fonctionnent en fait comme une représentation à deux échelles des objets historiques (EC) (cf. Fig. 4).

- Dans un premier temps, il est nécessaire de pouvoir travailler sur les maçonneries qui composent le site (notamment pour travailler sur le remploi). Les ES correspondent alors à des portions d'espace occupées par de la maçonnerie et sont des objets 3D, où 3 axes -ou dimensions- sont nécessaires pour localiser les sommets (x, y et z) les uns par rapport aux autres. Ainsi un logis (objet historique, EC) sera constitué d'une combinaison d'ES (objets géographiques en volume) qui associées formeront les murs de ce logis (cf. § 4.3.2). Ce type de représentation ne peut évidemment pas être étendu à tous les EC. En effet, un jardin, une cour ou une rue n'occupent pas un volume dans l'espace mais une surface (2D). Ce type de représentation des EC ne permet toutefois pas de travailler sur l'espace plan, puisque par exemple le logis sera représenté par ses murs et non son emprise au sol, l'intérieur du logis serait alors paradoxalement vide.
- Dans un second temps, afin précisément de pouvoir travailler sur les dynamiques spatiales, ce sont les plans masses des bâtiments et non plus leurs plans détaillés qui doivent être modélisés. Il s'agit alors d'un changement d'échelle, où le volume du bâtiment n'apporte aucun renseignement utile à l'analyse : la représentation en 2D suffit.

A ces deux sous-types d'objet s'ajoute un autre type aux dimensions propres : c'est celui du Modèle Numérique de Terrain. Ce MNT diachronique est constitué à partir de multiple sommets (couple x,y) qui sont datés (date de début et de fin) et qui présentent chacun une valeur z. Il est alors possible d'obtenir à un temps t1 ou t2 les MNT du site, puis de les comparer (calcul de volume par différence) ; il s'agira alors d'objets 2,5 D c'est-à-dire sans épaisseur (Larrivée, Bédard et Pouliot 2006 : 15).

Toutefois, il peut s'avérer utile de travailler par exemple sur les pentes d'un jardin ou de construire le profil d'une rue. Chaque combinaison d'ES 2D (i.e. un EC) est alors drapée sur un MNT contemporain de l'objet historique. On parlera alors à propos des EC (et non plus des ES) d'objet 2,5 (puisque les altitudes ne sont pas des propriétés de construction des ES, mais des attributs historiques aux EC).

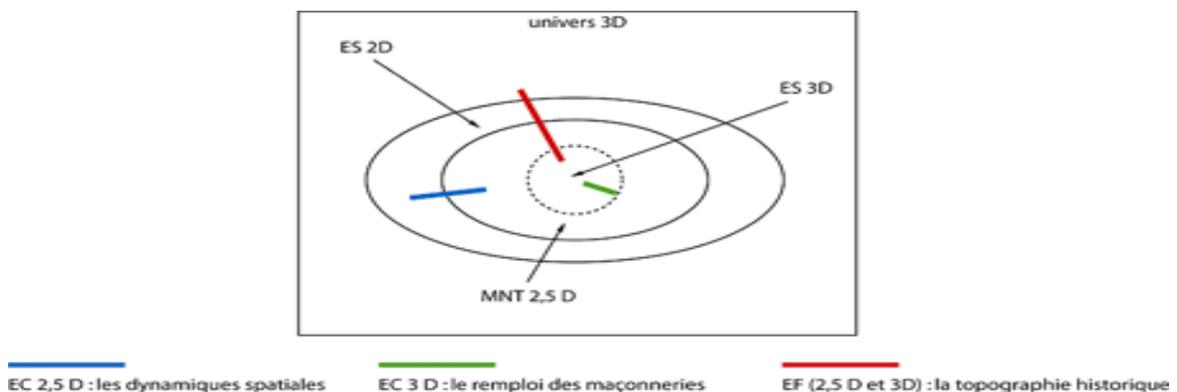


Fig. 4. Schéma représentant les différentes dimensions d'objets sollicitées par les trois principaux thèmes d'analyse effectués à partir du modèle.

La coexistence de ces deux sous-types d'ES entraîne une certaine forme de redondance. En effet, un même EC représenté par une combinaison d'ES 3D sera également obligatoirement représenté par une série d'ES 2D. La figure 4 montre que les deux thèmes d'analyse spatiale envisagée (bleu et vert) ne prennent jamais en compte simultanément les deux sous-types d'ES. Il ne s'agit donc pas d'une redondance d'information, mais bien de deux systèmes envisagés chacun à une échelle qui lui est propre.

4.3.2 Le découpage des ES

Il s'effectue en découpant l'espace en portion (ES) selon la forme des objets historiques (les EC), mais aussi selon la trajectoire propre dans le temps de tout ou parties de ces objets historiques. Il n'existe donc pas de redondance

graphique possible entre ces ES (aucune superposition n'est permise) : il s'agit véritablement de graphes planaires topologiques sans isthme (cf. *supra*).

L'application en volume d'une telle méthode semble peu courante. Dans ce travail elle est pourtant nécessaire pour modéliser le bâti. La relative simplicité de la méthode permet en fait une adaptation aisée du principe au volume. Les ES 3D qui modélisent les espaces maçonnés sont gérées d'une manière identique aux ES 2D ; on ne parlera toutefois plus de graphes mais de « solides topologiques ». Là encore les solides ne peuvent pas s'interpénétrer les uns aux autres ; ils sont construits selon des règles topologiques. La figure 5 présente un exemple de modélisation des EF en ES 3D. Dans ce schéma, 1 fut créé par ce qu'il appartient uniquement à A, 2 par ce qu'il appartient à la fois à A et à B, et 3 par ce qu'il n'appartient qu'à B. Ainsi l'ES ne peut renvoyer à aucune réalité historique : dans la figure 5, il n'est pas possible de définir ce qu'est l'ES 2. L'entité spatiale ne peut donc porter aucun attribut.

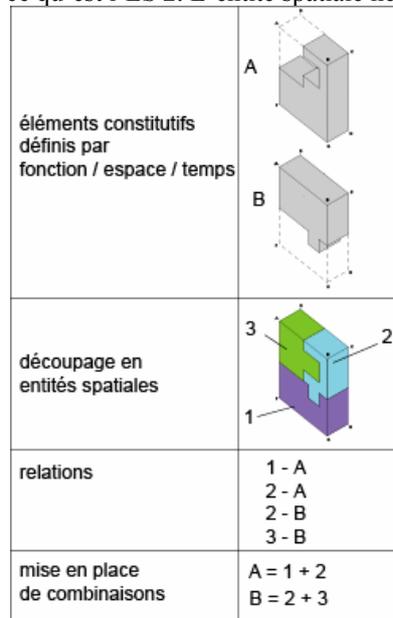


Fig. 5. Principe de rapport entre EC en ES

Les valuations sont portés directement sur les relations qu'entretiennent ES et EC : c'est l'association de l'un à l'autre qui à un sens historique (Galinié, Rodier et Saligny 2004), l'ES en soit ne correspond alors qu'à une partie de l'espace (plan ou volume) achronique. Les analyses thématiques porteront donc sur ces relations.

5 - Premiers résultats

5.1 La construction physique du modèle sous SIG

L'implémentation de ce modèle a été réalisée dans le logiciel ArcGis 9.1, une gamme de produit ESRI. Ce logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) fonctionne selon la méthode « orientée objet », il permet dans sa version ArcEditor/ArcInfo d'implémenter un modèle conceptuel de données. Le terme ESRI alors utilisé est celui de « géodatabase ».

5.2 L'interrogation des données

L'acquisition des données reste une démarche longue. Chacune des 24 maisons réparties sur l'ancien amphithéâtre (1,7 ha) doit être étudiée afin de restituer et d'interpréter les états antérieurs (cf. Fig. 8). Actuellement même si l'acquisition des données est en cours, il est néanmoins possible de présenter un aperçu des résultats.



Fig. 8. Exemple de résultat d'étude archéologique du bâti (corps de logis 1 au 7 rue de la Bazoche).

Le système peut être appliqué à trois grands thèmes d'analyse (Fig. 4).

1. Le premier permet de manière simple de travailler sur la topographie du site, il est ainsi possible de faire des requêtes croisées sur les attributs ou propriétés des EC (localisation, datation, fonction) et d'obtenir des cartes ou des vues en volume d'un thème particulier. Par exemple chercher à connaître l'état du site en 1400, ou la surface moyenne des jardins au 17^e s...

La structuration de l'information permet aussi d'avoir recours à deux thèmes d'analyse des dynamiques de l'espace en volume ou en plan.

2. Il est par exemple possible d'obtenir une représentation des entités spatiales 3D les plus sollicitées dans le temps, c'est-à-dire l'importance du remploi des espaces maçonnés (cf. Fig. 9).

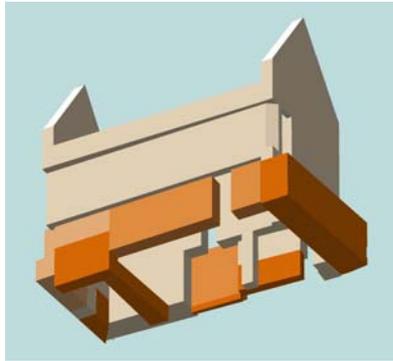


Fig. 9. Représentation en volume du remploi (du plus foncé au plus clair) plus ou moins important des maçonneries du corps de bâtiment 1 du 12 rue du Général Meusnier

3. En plan, à partir des ES 2D, il est possible de rendre compte des dynamiques urbaines. La constitution du modèle et l'organisation particulière des données permet en effet de travailler sur la persistance des fonctions des EC dans l'espace, c'est-à-dire par exemple, chercher là où les transformations fonctionnelles ont été les plus fortes (cf. Fig. 10).



Fig. 10. Représentation en plan de la persistance (du plus foncé au plus clair) des fonctions des EC dans le temps (en blanc : non documenté).

5.3 Les limites de l'implémentation

Même si l'acquisition de données est en cours et que les résultats obtenus ne peuvent pas être interprétés dans l'état, il est possible de conclure en soulignant qu'une fois implémenté le modèle permet de répondre efficacement aux objectifs qui sont les siens. Toutefois, lorsqu'on cherche à modéliser des objets 3D, sous différents aspects, l'application du système sous SIG ne peut pas correspondre rigoureusement au modèle conceptuel. Ces écarts sont inhérents à la conception du logiciel lui-même :

- D'abord, il concerne la modélisation des entités EF 3D et s'explique par la modernité de ce type d'approche. En effet, l'essor des SIG étant assez récent, les développements se sont jusqu'à présent essentiellement penchés sur l'analyse spatiale en plan (2D ou 2,5D) comme le soulignent S. Larrivée, Y. Bédard et J. Pouliot « les applications actuelles du SIG 3D étant très rudimentaires, il n'existe pas à notre connaissance d'extension spatiale 3D pour les formalismes de modélisations de base de données puisque

l'expression des besoins en ce sens est vraiment récente » (Larrivée, Bédard et Pouliot 2006 : 10). Ainsi, le logiciel ESRI ArcEditor/ArcInfo 9.1 est-il limité dans la gestion des objets 3D. En effet, même s'il est possible de créer des volumes (cf. Fig. 8), leur construction n'est possible qu'à partir d'objets géométriques 2,5 D (points, lignes, surfaces) extrudés. Différentes formes ne sont alors pas réalisables (sphères, cônes, objets aux faces irrégulières...) et les résultats obtenus sont sommaires : les voûtes, les arcs n'étant par exemple pas modélisables (cf. Fig. 8).

- Ensuite, et le problème est lié, le véritable écueil vient du fait que le logiciel ne considère pas les ES 3D comme de véritables solides. En effet, la valeur d'extrusion est un attribut de l'objet et non une propriété : le volume n'est donc pas pris en compte, seule la base de l'ES 3D est gérée de manière topologique (c'est-à-dire un objet 2,5 D). Ainsi la notion de solide topologique développée dans le paragraphe 4.3.2 n'existe pas dans le logiciel, celui-ci ne gère pas la topologie 3D. Ici, il ne s'agit que d'une forme de visualisation.

6 – Conclusion

Ce travail retrace donc les étapes de la mise en place et de l'application d'une modélisation construite selon la méthode HBDS. Celle-ci est destinée à travailler en plan sur les dynamiques spatiales à l'échelle du tissu urbain, mais aussi en 3D à l'échelle du bâti. Les premiers résultats obtenus permettent de valider cette approche neuve pour l'étude de la ville dans la longue durée. Toutefois l'application 3D représente un enjeu récent et pose encore quelques problèmes d'application qui n'entravent cependant pas l'objectif principal du modèle. Ce dernier permet en effet d'obtenir sur une longue durée une vision des dynamiques de l'espace, ceci afin de mieux appréhender la formation puis la transformation du tissu urbain implanté sur l'amphithéâtre antique de la ville de Tours.

Références bibliographiques

Berge 1958

C. Berge – *Théorie des Graphes et ses applications*, Dunod, Paris 1958

Bouillé 1977

F. Bouillé – *Un modèle universel de banque de données simultanément portable, répartie*, Thèse d'État ès sciences (spécialité : mathématiques, mention : informatique) Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, Paris 1977

Galinié 2000

H. Galinié – *Ville, espace urbain et archéologie*, éd. Maison des sciences de la ville, de l'urbanisme et des paysages, Université François-Rabelais de Tours, Tours 2000

Galinié, Rodier et Saligny 2004

H. Galinié, X. Rodier et L. Saligny – Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée, in : *Histoire & Mesure*, 2004, t. XIX-3/4, pp. 223-242

Larrivée, Bédard et Pouliot 2006

S. Larrivée, Y. Bédard et J. Pouliot – Fondement de la modélisation conceptuelle des bases de données géospatiales 3D, in : *Revue internationale de Géomatique*, volume 16, n°1/2006, pp. 11-27

Lefebvre 2006

B. Lefebvre – Construction et déconstruction de l'espace urbain : une modélisation en volume du bâti ancien, in : *MIA Journal*, volume 0, VII 2006, num. 2, pp. 53-58
<http://www.map.archi.fr/mia/journal/>

Pirot et Saint-Gérand 2005

F. Pirot et T. Saint-Gérand – La Géodatabase sous ArcGIS, des fondements conceptuels à l'implémentation logicielle, in : *Géomatique Expert*, Février-Mars 2005, n° 41/42, pp. 62-66

Saint-Gérand 2005

T. Saint-Gérand – Comprendre pour mesurer... ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, in : Y. Guermont – *Modélisations en géographie. Déterminisme et complexité*, Hermès Science, Paris 2005, pp. 261-298

Thériault et Claramunt 1999

M. Thériault et C. Claramunt – La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, in : *Représentation de l'espace et du temps dans les SIG*, *Revue internationale de géomatique* 9, 1999, pp. 67-99

SIG ET 3D : CREER LES CONDITIONS D'OBSERVATION D'UN HABITAT DISPERSÉ AU MOYEN-ÂGE.

Florence Escande

UMR 5136 - FRAMESPA

La thèse ici présentée est un doctorat en histoire médiévale préparé à l'université de Toulouse-le Mirail sous la co-direction de Mireille Mousnier et Jean-Loup Abbé.



Suivant un axe approximativement est-ouest, cette vallée barre l'extrême pointe du département de l'Aveyron assurant la liaison entre le plateau de l'Aubrac au nord et le causse Comtal au sud. Le secteur est qualifié de moyenne montagne, les altitudes s'échelonnant de 350 m au fond de la vallée à 1000 m sur le plateau de l'Aubrac. La zone s'étend sur seize communes : Saint-Géniez-d'Olt, Sainte-Eulalie-d'Olt, Prades-d'Aubrac, Lassouts, Castelnau-de-Mandailles, Saint-Côme-d'Olt, Espalion, Bessuejols, Coubisou, Sébrazac, Estaing, Campuac, Le Nayrac, Golin hac, Florentin-la-Capelle et Entraygues-sur-Truyère.

Cette « zone-laboratoire » a été découpée selon des critères humano-géographiques : humains parce que l'habitat est particulier à cette vallée en rapport aux environs : chapelet de petites villes sur le Lot associé à un habitat dispersé organisé en hameaux sur les versants.

Des critères géographiques, parce que c'est une micro-région homogène sur le plan topographique, géologique et écologique.

L'habitat s'y présente comme un semis de hameaux s'étalant sur les pentes de la vallée, associé à un réseau de petites entités urbaines jalonnant le cours d'eau.

Ces hameaux prennent plusieurs visages allant de l'entité unique, c'est-à-dire un bâtiment d'habitat et des bâtiments agricoles au groupement de type urbain en passant par toutes les tailles intermédiaires : hameau de quelques habitats, bourgs (au-delà d'une dizaine d'entités).

La documentation disponible concerne essentiellement la fin du Moyen-Âge. Inégalement répartie dans l'espace, deux pôles sont privilégiés : Espalion tout d'abord avec une exceptionnelle série de quatre registres d'estimes pour le XVe siècle (1403, 1435, 1461 et 1490) associés à 14 registres de notaires. Saint-Géniez-d'Olt ensuite, avec un imposant compoix du XVIe siècle en deux tomes et une série de 149 registres de notaires.

Le principal problème de préhension des peuplements à tissus lâche tient à un des caractères premiers de cet habitat : il est formé d'unités nombreuses et réduites. Celles-ci demeurent de fait ténues dans la documentation, leur taille les rendant mobiles et particulièrement sensibles à l'histoire familiale. Ceci fait que chaque unité d'habitat apparaît en points tillés dans la documentation et le corpus de mentions pour chacune est numériquement faible, trop réduit pour permettre une monographie du hameau.

Dans ces conditions documentaires, deux remarques s'imposent : en premier lieu, il est important de rendre exploitables le maximum de mentions. Mes sources sont foncières et fiscales, elles font référence à des localisations précises dans l'espace. Je propose de repositionner les informations de la documentation écrite dans le contexte spatial auquel elles font référence. Ainsi, en plus de l'information propre au document, je peux intégrer des informations sur le voisinage des biens concernés. C'est ici qu'intervient l'analyse spatiale : c'est en appréhendant l'espace, et les éléments qui le composent, dans sa globalité (distributions, continuités, lacunes) que j'ajoute de l'information aux sources. C'est aussi ici qu'intervient la 3D : dans un souci de considérer les sources au plus près du réel. Ce réel est tridimensionnel, et, surtout en pays d'habitat dispersé, la notion de parcours devient fondamentale pour toute modélisation. En effet, le quotidien implique de déplacements, d'autant plus fréquents que rien n'est centralisé. Le postulat est d'identifier les réseaux qui se substituent à la centralisation. Cette donnée 3D est donc extrêmement importante quant à la compréhension des réseaux de peuplement.

En second lieu, il devient également primordial de pouvoir croiser toutes les sources et tenter de combler les lacunes de certaines par les autres. L'importance de la masse documentaire et cette nécessité de croiser les documentations rendent une approche sérielle indispensable.

C'est pour répondre à ces impératifs d'objet d'étude et de documentation que j'ai choisi de construire un SIG : il constitue une méta-source, permettant de manipuler et analyser des données très nombreuses. Il apparaît également adapté à ce phénomène spatial particulier qu'est l'habitat dispersé par sa capacité d'intégrer des données géographiques, tridimensionnelles, en plus des données historiques.

Enfin, il propose des outils d'analyse spatiale offrant par là la possibilité d'aller plus avant dans l'exploitation des sources.

Le choix d'une telle méthode de travail ne va pas sans précautions et problèmes. Problèmes tout d'abord : intégrer des sources fiscales et notariales anciennes dans des outils développés pour des géographes contemporains n'est pas une évidence. Parce qu'il y a avant tout une différence entre une source et une donnée : la donnée est une sélection faite par le chercheur d'une partie d'une réalité contenue dans une source. La donnée est donc construite, et principalement à partir d'une source qui est elle-même construite, en rapport avec un référentiel culturel et spatial particulier.

Ensuite, cette donnée est injectée dans un logiciel SIG conçu pour des géographes, donc dans un référentiel contemporain qui ne correspond pas forcément à celui dans lequel a été conçue et construite la donnée.

Le travail ici présenté est donc double. Au-delà de la simple étude d'un habitat dispersé, il s'agit d'évaluer une méthode de traitement des sources. Cette thèse est donc pour moitié élaboration d'une méthodologie et sa critique.

C'est ce double travail que je vais aujourd'hui illustrer à travers l'exemple du SIG Saint-Géniez-d'Olt : choix et construction des couches d'information, description des sources et modèle conceptuel de données pour finir par montrer les premières tendances qui se dégagent et les premiers résultats.

L'idée est de pouvoir intégrer dans leur contexte spatial les données des sources. La base du SIG est donc constituée des couches graphiques et géographiques. Pour intégrer les données anciennes le point de départ est le cadastre napoléonien, soit la plus ancienne représentation de l'espace en continu. La troisième dimension est injectée sous forme d'un MNT et enfin, pour pouvoir positionner le cadastre du XIXe siècle avec ce MNT, j'ai du recourir à une couche de transition, c'est-à-dire qui soit géoréférencée et pouvant servir de support au géoréférencement du cadastre. Cette couche intermédiaire est la carte IGN au 25 000^e, qui malgré une différence d'échelle avec le cadastre, est le seul fonds géographique référencé pour le secteur étudié.

L'intégration du cadastre napoléonien a posé problème. Bien que récemment numérisé (avec état des sections et matrices), il n'a pas été possible d'en obtenir une copie. J'ai donc dû, dans un premier temps, procéder à

l'acquisition numérique des plans parcellaires. Pour ce faire j'ai employé une méthode dérivée de celle que j'applique par ailleurs pour les relevés d'élévations bâties : le redressé ortho-photographique. Cette méthode a été préférée aux autres types de rectifications par volonté de rester au plus proche de l'original. C'est dans un second temps que les planches redressées sont géoréférencées dans le SIG via la carte au 25 000^e. L'évaluation à chaque étape du taux d'erreur quadratique (RMS) permet d'apprécier la précision et les limites de la couche d'information. C'est cette erreur qui, combinée la précision du MNT, me permet d'établir les limites des analyses du SIG.

C'est dans un second temps qu'ont été traitées les sources écrites. La couche archéologique étant, pour sa part, en construction : son point de départ est la base de données Patriarche enrichie de prospections pédestres et des sources écrites.

Compois et notaires ont été réunis au sein d'une même base de données Access. L'idée est de pouvoir établir un dénominateur commun aux deux sources pour permettre leur croisement, tout en conservant les informations spécifiques à chaque document. En effet, à l'instar de la finalité des deux types de documents, les informations qu'ils contiennent sont différentes. L'un a pour but de consigner une pratique quotidienne des patrimoines : achats-ventes, reconnaissances féodales, testaments, affranchissements etc. L'autre évalue la redevance que chacun doit payer en fonction de son patrimoine. Tandis que le premier propose une information, sur une chronologie large, ponctuelle et précise mais hétérogène, le second offre une vue continue et normalisée qui se prête aux traitements statistiques mais exempte d'épaisseur temporelle.

La base de données est donc relationnelle, structurée par tables en adéquation avec les sources : données communes sur lesquelles les deux types de sources pourront être croisés et données spécifiques propre à chaque document. Un numéro d'entrée est attribué à chaque transaction notariale ou bien imposé ainsi, les requêtes s'effectuent sur des matrices de croisement (données communes) ou sur des matrices propres à un document.

La saisie des données est encore en cours, toutefois, je peux déjà proposer de premiers résultats. A travers l'exemple de Volmanières, je peux voir comment s'organise une unité d'habitat dispersé ainsi que son finage, ce dans les trois dimensions du réel : composition, répartition, distance à l'exploitation. Ensuite, à travers l'exemple d'un quartier de la ville de Saint-Géniez-d'Olt, je montrerai quel regard nous pouvons porter sur la ville du XVI^e siècle par la représentation 3D de son bâti.