



Analyse des évolutions

Analyse des évolutions des données topographiques et démographiques de la carte de Cassini à nos jours

Rapport numéro	L4.1
Titre	Analyse des évolutions des données topographiques et démographiques de la carte de Cassini à nos jours
Rédigé par	Lucie Nahassia (COGIT/IGN), Christine Plumejeaud (COGIT/IGN)
Etat (en cours / final)	Final
Relu par	Anne Ruas (IFSTTAR)
Date	2 octobre 2012

Ce document expose les méthodes d'analyse des données topographiques, démographiques qui ont été mises en place pour l'étude du changement de l'organisation de l'espace entre l'époque de la révolution française et aujourd'hui. Vis-à-vis de ce changement, l'étude pose la question du lien entre la densification des communes et leurs évolutions administratives. Trois sources majeures de données sont considérées : les cartes de Cassini, les cartes d'Etat-Major révision 1889, et la base de données topographiques (BDTopo) 2011.

SOMMAIRE

Analyse des évolutions	1
Analyse des évolutions des données topographiques et démographiques de la carte de Cassini à nos jours ...	1
1. Introduction	3
1.1. Questionnements	4
1.2. Méthode d'analyse proposée	4
2. Exploitation des données	8
2.1. Caractéristiques des informations topographiques	8
2.1.1. Sources d'information	8
2.1.2. Format des données topographiques	10
2.1.3. L'imprécision temporelle	11
2.1.4. L'imprécision spatiale et le biais sélectif	12
2.2. Les données démographiques et historiques	14
2.3. Choix d'une maille d'observation	16
2.4. Construction d'indices fonctionnels	18
2.4.1. Cassini versus BDTopo	20
2.4.2. Etat-Major versus BDTopo	30
3. Analyse conjointe de Cassini et la BDTopo	33
3.1. Analyse du changement	34
3.1.1. Etude de la distribution des indices pour t_1 et t_2	34
3.1.2. Première analyse : ACP et CAH	34
3.1.3. Résultats	35
3.1.4. Interprétation des résultats	45
3.2. Analyse de l'organisation spatiale sous Cassini (XVIIIème)	46
3.3. Analyse des corrélations entre profil administratif et topographiques	52
4. Analyse conjointe de l'Etat-Major et la BDTopo	55
4.1. Analyse du changement	55
4.1.1. Etude de la distribution des indices pour t_1 et t_2	55
4.1.2. Première analyse : ACP puis CAH	55
4.1.3. Résultats	56
4.1.4. Interprétation des résultats	64
5. Conclusion	66
5.1. Bilan	66
5.2. Perspectives	67
6. Bibliographie	68
7. Annexe	71

1. Introduction

Les possibilités d'analyse qu'offrent l'ensemble des données topographiques vectorisées pour deux époques différentes, celle de la révolution française avec les cartes de Cassini, et celle de la révolution industrielle avec les cartes d'Etat-Major, comparées à des données topographiques actuelles issues du Référentiel Grande Echelle de l'IGN (BDTopo 2011) semblent particulièrement riches. En effet, ces données peuvent certainement mettre en exergue les phénomènes de densification du territoire français, d'urbanisation et d'exode rural, phénomènes qui ont été largement discutés dans la littérature.

Il est ainsi possible de produire des cartes intéressantes montrant, par exemple, l'évolution du territoire urbain autour de centres anciens, comme l'illustre la Figure 1.

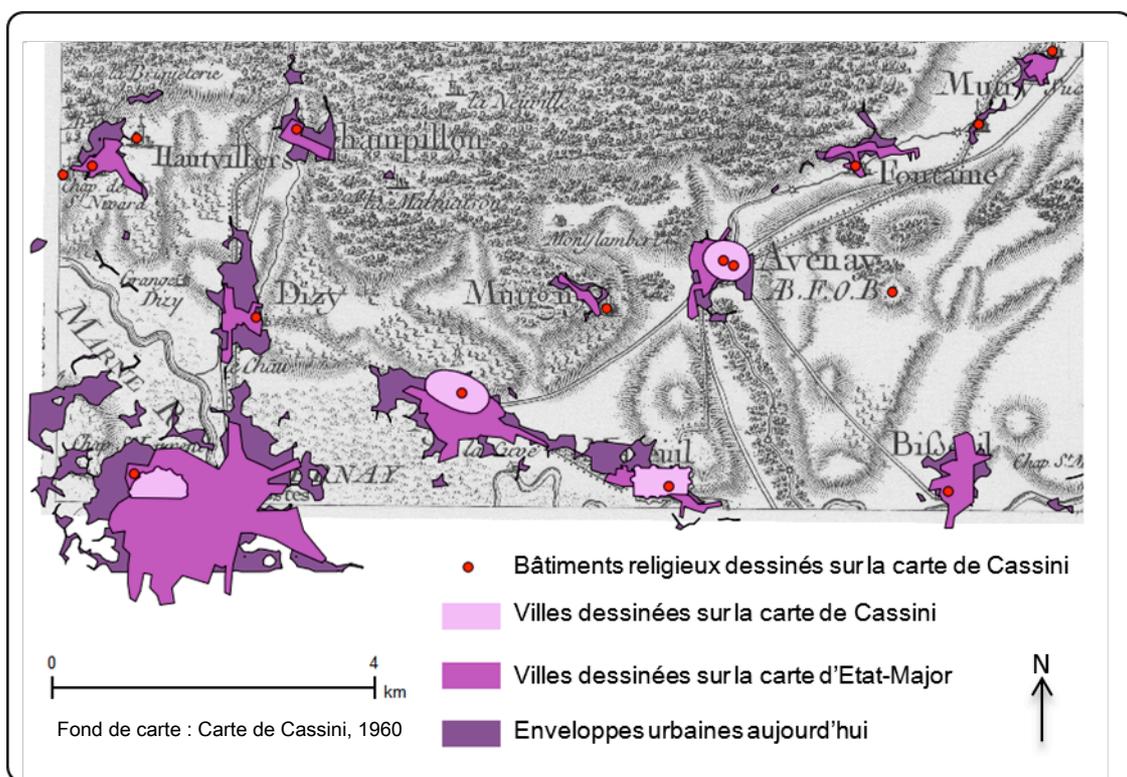


Figure 1: Evolution des territoires urbains autour des bâtiments religieux du XVIIIe siècle à Epernay, Champagne.

Nous disposons en outre des données démographiques et de l'histoire administrative des communes française sur l'ensemble de la France. Nous nous demandons également dans quelle mesure ces données topographiques peuvent aider à expliquer le développement de territoires, et en particulier, la structure du découpage administratif si particulier de la France, spécialement au niveau communal [Motte 2008].

1.1. Questionnements

Il s'agit d'identifier des paramètres qui influencent les évolutions des limites administratives des communes, et les éléments issus des données topographiques qui peuvent expliquer ces évolutions. Il est donc question de trouver des corrélations entre des profils de communes selon les objets qu'on trouve sur leur territoire, au XVIIIe, au XIXe et au XXe siècle, et les changements administratifs et territoriaux qu'elles ont connu. Les données démographiques peuvent également être impliquées dans les analyses.

Plusieurs hypothèses guident cette exploration :

- Les communes traversées par des axes de communications importants (routes royales, chemins de fer, autoroutes...) s'agrandissent (fusions, absorptions de communes).
- Les communes dont les chefs-lieux fortement peuplés sont proches fusionnent.
- Les communes n'évoluent pas de la même manière suivant si l'habitat est dispersé/groupé.

Nous souhaitons donc construire une analyse exploratoire multidimensionnelle de cette information, combinant données démographiques, topographiques et administrative pour tenter de répondre à la question suivante : « Dans quelle mesure les modifications de l'organisation spatiale du tissu économique de la France ont pu influencer les redécoupages administratifs observés depuis 200 ans ? ». La question subsidiaire mais néanmoins cruciale étant « Dans quelle mesure les données topographiques et démographiques connues sur les communes peuvent aider à caractériser le tissu économique du territoire français depuis 200 ans ? ».

En effet, toute la France ne peut être vectorisée à la main, et les précédents rapports du projet ont expliqué que l'ensemble des données produites ne concernent que des zones de petite surface, sur trois échantillons de territoire différents : la plaine autour de Reims, un espace côtier maritime autour de Saint-Malo et un espace montagnard autour de Grenoble. Par ailleurs, suivant les époques, nous analysons des représentations du territoire dont l'objectif, les techniques et les usages diffèrent, qui introduisent certainement un biais dans l'analyse.

Ce rapport commence par expliquer comment les données à notre disposition ont été utilisées pour construire des indices représentatifs de l'organisation spatiale du territoire aux différentes époques. La deuxième partie de ce rapport est consacrée à l'étude des données extraites de la carte de Cassini, confrontés à celles extraites de la BDTopo. La troisième partie réitère l'analyse, mais en confrontant les données issues de la carte d'Etat-Major à celles de la BDTopo.

1.2. Méthode d'analyse proposée

Nous exposons ici le choix méthodologique qui a été fait. *L'analyse multi-dimensionnelle* que nous avons mis en place est une méthode exploratoire qui nous a semblé intéressante à mettre en place sur un corpus d'information aussi hétérogène que celui dont nous disposons.

L'objectif de l'étude est de caractériser les changements, d'abord fonctionnels, puis administratifs et démographiques, intervenus sur le territoire des communes françaises, et à terme de comparer chacun de ces changements pour trouver, ou non, des corrélations entre eux. Dans un premier temps, nous nous sommes concentrés sur l'étude du changement fonctionnel.

Pour ce faire, nous suivons une approche classique de l'analyse spatiale : l'étude des profils des individus statistiques. En effet, l'information relative aux communes est constituée d'objets très divers (l'information topographique principalement) : il s'agit d'une information

multidimensionnelle. Or, ce type d'information est exploré, résumé, expliqué de manière efficace par les analyses factorielles. Leur pouvoir de filtrage et de description de l'information permet de composer des profils à partir d'un corpus de données très fourni, et de classer les individus en fonction de ceux-ci. Cette approche est aussi intéressante pour nous puisque nous cherchons à *différencier les communes* selon leur évolution dans le temps.

C'est donc dans la littérature conventionnelle sur l'analyse spatiale factorielle et sur l'analyse statistique multivariée que nous avons cherché les références et les méthodologies possibles pour ce type d'approche.

Il s'agit de mener des analyses factorielles pour dégager des profils de communes, mais aussi et surtout d'intégrer la dimension temporelle dans cette étude : le profil de telle commune au temps t_1 (ici celui de l'époque de Cassini, entre 1750 et 1780) est-il le même que le profil de cette même commune au temps t_2 (ici l'époque contemporaine, entre 2007 et 2011), ou l'individu a-t-il changé de classe ?

Or, la méthodologie développée dans un article de [Piron et al. 2004], analysant l'évolution des caractéristiques socio-démographiques de la population de Bogota entre 1973 et 1993, correspond tout à fait aux besoins de notre étude. Nous nous sommes donc inspirés de l'approche employée dans cet article, formalisée par des ouvrages de référence dans le domaine [Pumain & Saint-Julien 2010; Husson et al. 2009; Pumain et al. 2004; Lebart et al. 1995].

Comme l'expliquent [Pumain & Saint-Julien 2010], l'analyse dans le temps des distributions spatiales correspond à une comparaison de plusieurs matrices d'information géographique où les unités spatiales sont décrites, à chaque date, par les mêmes caractères statistiques. Un tableau est construit qui réunit les deux populations de communes, à t_1 et t_2 , décrites par les mêmes variables. Des algorithmes d'analyse sont ensuite appliqués sur cette matrice, en fonction de la nature des données et de la forme du résultat voulue.

L'objectif de l'étude est double : définir les profils statistiques des communes, puis classer ces communes en fonction de ces profils. Pour cela une méthode mixte est utilisée, telle qu'elle est décrite par [Lebart et al. 1995] : l'information statistique est d'abord résumée par une analyse factorielle, puis elle est soumise à un algorithme de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur les résultats. Ces deux méthodes sont complémentaires, car les premières partitions de la CAH correspondent généralement aux premiers axes de l'analyse factorielle. Par ailleurs, l'utilisation d'une CAH permet de classer les individus en fonction de leurs coordonnées sur tous les axes de l'analyse factorielle (même si, en général seuls les axes les plus significatifs sont pris en compte), là où une simple discrétisation réduit l'information car regroupe les individus à partir d'un seul axe.

Au terme de ces opérations, si les individus i_{t1} et i_{t2} appartiennent à la même classe, il n'y a pas eu de changement. S'ils sont dans des classes différentes, la transition entre profil de départ et profil d'arrivée caractérise cette évolution. Cette information sur le changement peut ensuite être organisée dans une matrice de transition. A partir de la matrice de transition, les changements communs à un groupe d'individus sont facilement observables, et permettent ensuite de revenir à des sources historiques pour interpréter ces transitions, et soulever des questions afférentes à la nature de ces transitions qui n'auraient peut-être pas pu être observées sinon.

Le schéma global de la méthodologie choisie pour étudier le changement fonctionnel, illustré par la Figure 2 est le suivant :

- 1) Créer des indices à partir de l'information topographique et historique pour chaque commune de l'étude et aux dates concernées.
- 2) Organiser ces informations dans une matrice d'information géographique où chaque commune apparaît autant de fois qu'il y a de périodes étudiées.
- 3) Appliquer une analyse factorielle sur cette matrice.
- 4) Appliquer une CAH sur les résultats de l'analyse factorielle sur autant d'axes que nécessaire.
- 5) Etudier les changements de classe entre les communes à t_1 et les communes à t_2 .

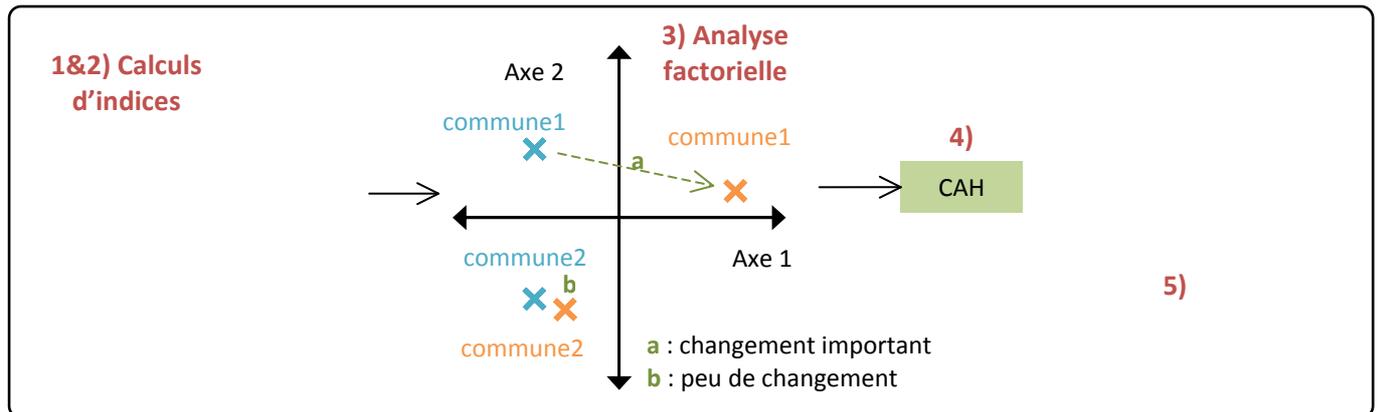


Figure 2 : Les étapes schématiques de la méthodologie employée.

Une fois chaque commune associée à un type de changement, ce dernier pourra être comparé à leur changement administratif.

Pour que l'analyse statistique ait un sens, il faut que les indices créés soient équivalents entre chaque époque. Ainsi, dans [Piron et al. 2004], les auteurs utilisent des données issues de recensement dont les questions (âge, sexe, niveau d'éducation, etc.) ont peu changé en 20 ans. Certains éléments conservent ainsi, dans notre étude, la même signification pour les deux dates : la surface des villes/villages/agglomérats d'habitat, la longueur des routes, etc.

Cependant, dans notre cas, la distance entre les deux époques d'étude est d'environ deux siècles : il est impossible d'utiliser tout le temps rigoureusement les mêmes indices pour les deux jeux de données. Si le nombre de moulins à eau par commune est un indicateur du dynamisme économique de la commune en termes de transformation agricole et d'activité industrielle (forges, scierie, briqueterie, textile...) à la fin du XVIIIe, ce même nombre, aujourd'hui, ne renseigne que sur la bonne conservation du patrimoine de la commune et donc, par exemple, sur sa valeur touristique (une fonction qui n'a aucun sens au XVIIIe siècle). Cette contrainte réduit fortement le nombre d'indices calculés : nous nous basons sur la base de données qui contient le moins d'objets différents (ici les données Cassini), et toutes les informations supplémentaires disponibles dans la BD TOPO sont ignorées.

Une partie importante de cette analyse consiste donc à rechercher des indices dont la signification est équivalente pour les deux dates. Par exemple, pour créer un indice de type « activité industrielle », nous compterons :

- pour Cassini le nombre de moulin à eau, forges, et autres bâtiments de types industriels ;

- pour la BD Topo le nombre de zones industrielles et de point d'activité de type « usine ».

De surcroît, puisque ces indices construits pour chaque époque sont considérés comme identiques pour l'analyse factorielle, il est nécessaire d'introduire une étape de vérification de la comparabilité de leur distribution, comme l'illustre la Figure 3.

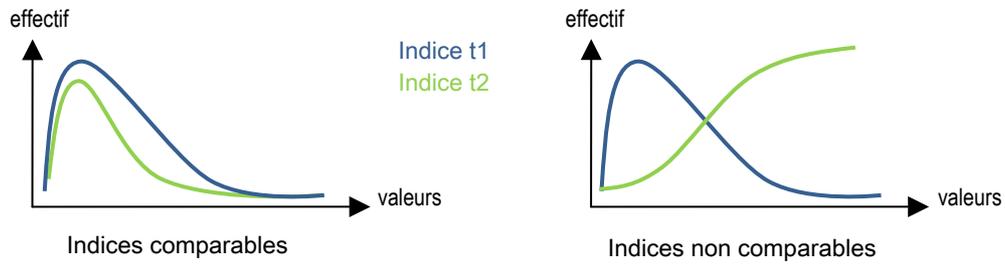


Figure 3 : Exemples type d'indices comparables et non comparables

2. Exploitation des données

2.1. Caractéristiques des informations topographiques

2.1.1. Sources d'information

La donnée topographique est issue de la vectorisation manuelle des cartes de Cassini et d'Etat-Major. La saisie vectorielle étant une tâche très longue, seules quatre zones, correspondant à quatre feuillets de la carte de Cassini ont été choisis comme échantillons de saisie manuelle.

Les zones de travail sont : **Saint-Malo** pour sa côte maritime, **Reims** pour le paysage de plaine, **Grenoble** pour la haute montagne. La zone d'**Agen** a été rajoutée afin de travailler sur un paysage de plaine comme Reims mais présentant une forte dispersion de l'habitat (à l'inverse de la Champagne qui montre plutôt un habitat groupé). La version des cartes choisie est celle du dernier levé ou de la dernière révision qui s'applique à la version des sources utilisées par le projet. Deux lots de cartes sont utilisés.

- a) Quatre feuilles de la carte de l'Académie, dite de Cassini, au 1:86 400. C'est la première carte de base de la France, commandée en 1747 par Louis XV et achevée sous le Second Empire. Les feuilles sélectionnées sont :
- **Reims** : feuille 79, libellée « Rheims », levés 1757-1759¹, publication 1759-1760 ;
 - **Saint-Malo** : feuille 127, libellée « Saint-Malo - Granville », levés 1755-1759, publication 1758-1759, corrections 1788-1789 ;
 - **Grenoble** : feuille 119, libellée « Grenoble », levés 1765-1777, date de publication ou de gravure inconnue ;
 - **Agen** : feuille 73, libellée « Agen », levés 1769-1778, date de publication ou de gravure inconnue.

Chaque feuille porte une imprécision temporelle qui correspond au décalage entre la date de levé et celle de publication.

C'est à partir de leur emprise qu'ont été définies les quatre zones de travail et des quarts de feuilles dont l'information a été entièrement vectorisée (sur le reste de la carte seuls certains objets ont été saisis), qui sont illustrées dans la Figure 4.

¹ Les dates sont celles fournies par [Pelletier 1990], dont l'ouvrage est peut-être le plus fiable sur le sujet. Toutes les sources (minutes originales, tableaux d'assemblages plus récents...) ne concordent pas, cependant pour le projet des imprécisions de quelques années importent peu puisque l'objectif est de comparer des données qui ont approximativement un siècle d'écart.

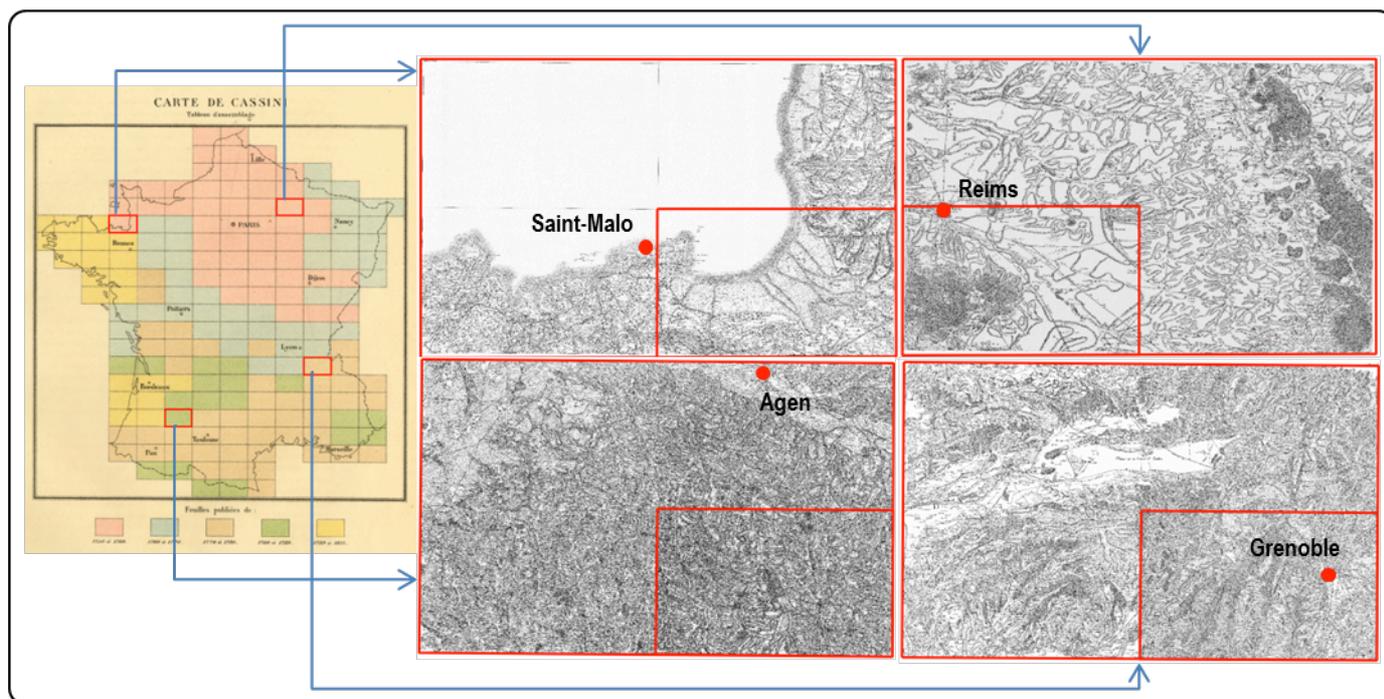


Figure 4 : Feuilles de Cassini sélectionnée pour le projet et emprise des zones de travail (source du tableau d'assemblage : [Berthaut 1898]).

Ces cartes présentent une forte imprécision sur la localisation des objets (estimée à environ 1 lieue, soit 4km), due à la combinaison de deux facteurs. D'une part (i) la faible précision des instruments de levés et des méthodes de mesure sur le terrain de l'époque de Cassini est en cause, notamment concernant la mesure de l'altitude [Morizet 2008; Berthaut 1898], d'autre part, (ii) les méthodes de géoréférencement des images scannées de cartes dessinées selon une projection « plate-carrée » peu standard et sujette à transformation. Ainsi, d'après l'étude de [Costes et al. 2012], réalisée dans le cadre du projet GéoPeuple, la précision sur les clochers, bâtiments de visée des triangulations ayant servi à la construction de la carte, est d'environ 300m sur les zones de plaines, mais peut aller jusqu'à 500m en montagne.

- b) Les cartes d'Etat-Major qui couvrent ou intersectent partiellement nos zones d'étude, soit 37 feuilles datée de 1888 à 1909 (dernière révision), au 1 :80 000. La précision de ces cartes est d'environ 25m [Berthaut 1898]. Des extraits de ces cartes sont présentés dans la Figure 1.

Le projet a saisi manuellement les informations des quarts de zones pour les cartes de Cassini, et des parties des cartes d'Etat-Major intersectant ces mêmes zones. L'analyse spatio-temporelle des données s'appuie uniquement sur les informations contenues dans ce quart de feuille. La zone d'Agen n'est pas prioritaire pour la vectorisation : cette zone ne fait donc pas partie de l'étude du changement.

Le rapport « L2.0-2 Présentation des données » [Plumejeaud 2012a], disponible sur le site du projet (<http://www.geopeuple.fr>), donne en détail les références de ces sources.

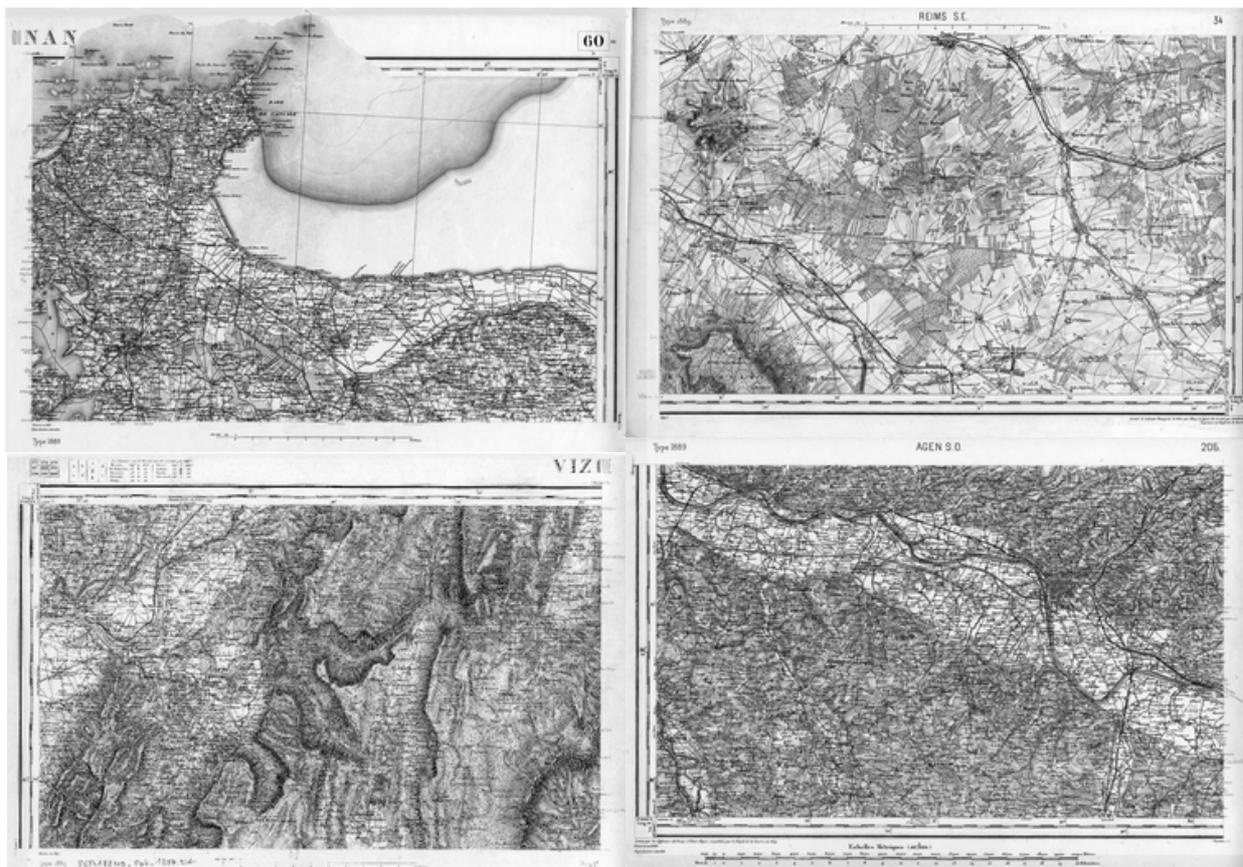


Figure 5 : Sélection de cartes d'Etat-Major intersectant les zones d'étude : Dinan, Reims S.E., Vizille, Agen S.O.

2.1.2. Format des données topographiques

L'information topographique saisie (Figure 6) est disponible sous forme de fichiers vectoriels (*shapefiles* d'extension *.shp*), organisés dans une base de données. A chaque type d'objet correspond une table pour laquelle sont définies une géométrie (ce qui en fait un objet vectoriel) et un identifiant de système de référence spatiale (SRID), basé sur les codes de l'EPSG. Les objets de même type sont enregistrés ensemble dans des classes en base de données. Ainsi les cours d'eau, les rivières, les fleuves sont regroupés dans une classe «HydroLinéaire », et y sont distingués par leur nature « Fleuve », « Rivière », « Canaux », et sont décrits par des attributs (toponyme, commentaire...).

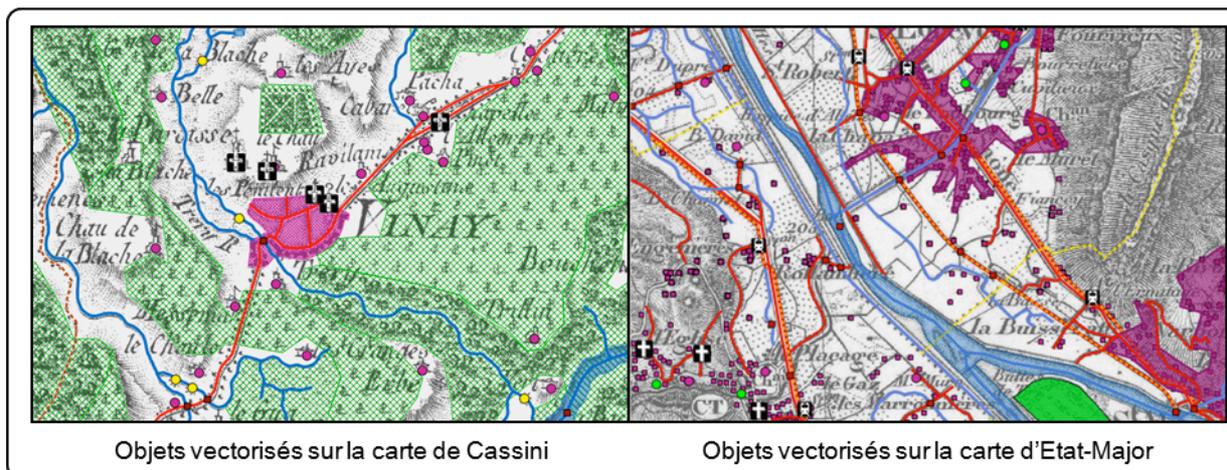


Figure 6 : Exemples de vectorisation sur les cartes de Cassini et d'Etat-Major (zone de Grenoble).

A chaque classe d'objet correspond une table relationnelle, dont les colonnes correspondent aux attributs des objets, comme le montre la Table 1.

idobjet	toponyme	id_nature	nature	commentaire	asewkt(geometry)	srid
1	Pilot	3	Ruisseau		LINestring(793877, ...)	2154
2	du Bois des Pan	3	Ruisseau		LINestring(793877, ...)	2154
4	Retourne	1	Rivière		LINestring(793877, ...)	2154
5		11	Indéterminé		LINestring(793877, ...)	2154
115		6	Canal souterrain		LINestring(793877, ...)	2154
685	Rhône	2	Fleuve		LINestring(793877, ...)	2154
6		10	Autre	Bras de la rivière	LINestring(793877, ...)	2154

Table 1: Extrait de la table relationnelle pour la classe « HydroLinéaire » (données Cassini).

L'ensemble des descriptions des classes et natures des objets modélisés et vectorisés sur les cartes est disponible sur www.geopeople.fr, dans les rapports [Plumejeaud 2012b; Plumejeaud 2012c].

Nos données sont définies dans le système de géoréférencement Lambert 93, ce qui correspond à l'EPSG 2154 (SRID choisi pour tous les objets traités dans le projet). Par la suite, l'information topographique est manipulée selon l'un ou l'autre des formats, suivant les besoins.

2.1.3. L'imprécision temporelle

Pour chaque époque, les données ont une imprécision temporelle forte. Les cartes ne représentent pas le territoire à un moment instantané, mais dans un laps de temps plus ou moins bien définis. Par exemple, les cartes d'Etat-Major retenues sont de « type 1889 », c'est-à-dire une édition avec des révisions à partir des cartes réalisées au milieu du XIXe siècle. Cependant, pour les feuilles de la zone de Reims, ces révisions ne concernent quasiment que les chemins de fer : sur une même carte, coexistent donc des objets topographiques datés de 1888 (le réseau ferroviaire) et des objets qui représentent la topographie de 1834 [Berthaut 1898], voire celle issue du cadastre de 1817 [Bacchus 1990].

Le biais temporel existe aussi pour la BD TOPO : comme pour les cartes d'Etat-Major, tout en étant sur un laps de temps plus court, la base de données n'est pas mise à jour de manière homogène. La révision de certains objets (le bâti, le réseau routier) est plus récente que d'autres (les bâtiments religieux), et elle n'est pas uniforme sur tout le territoire, mais c'est seulement la date de la dernière révision (sans précision sur le nombre réel d'objets actualisés) qui est indiquée dans les métadonnées de chaque classe. Au cours de la clarification de la BD TOPO 2011 (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), de nombreuses imprécisions temporelles ont été relevées. Sur l'espace de travail (la baie du Mont Saint-Michel) et les classes traitées (points d'intérêts religieux et bâti indifférencié), les cartes TOP 25 de 2008/2009 sont plus à jour que la base de données, datée de 2011.

Ce biais temporel est toléré dans le projet dans la mesure où le territoire est observé à des intervalles d'environ un siècle. Dans le cadre de l'analyse statistique, cette imprécision nous oblige à considérer le territoire non pas à une date précise, mais pour une période donnée : la fin du XVIIIe siècle, le milieu et le fin du XIXe siècle et le début du XXIe siècle.

2.1.4. L'imprécision spatiale et le biais sélectif

Les cartes historiques comportent également des imprécisions spatiales. Si la carte de Cassini a été construite avec les techniques les plus modernes de l'époque [Morizet 2008], les instruments de levé et les calculs sont imprécis dans le contexte scientifique actuel, de la géodésie toujours plus précise à l'utilisation du LIDAR. De plus, la topographie de détail est dessinée à main levée, calée dans les mailles des triangulations : « Au travail de la journée doit succéder celui de cabinet : il falloit, sur l'idée qu'ils avoient prise de la situation du pays dessiner à peu près les hauteurs, les vallons, le contour des bois, la direction des chemins, le cours des rivières, la nature du terrain » [Cassini de Thury 1754, p.8].

D'autre part, de la même manière que les cartes topographiques sont modelées grâce à la généralisation pour qu'elles restent lisibles, des libertés étaient prise sur la carte de Cassini pour représenter les objets trop proches. Eric Grosso, dans sa thèse [Grosso 2012], pointe ce type d'incohérence, comme l'exemple illustré sur la Figure 7 : l'hydrographie actuelle et son ancienne représentation sont bien alignées en bas de la figure, puis la rivière sur la carte de Cassini dévie vers le sud avant de rejoindre le trait bleu plus au nord. Cette écart est vraisemblablement dû au fait que l'église a été dessinée en première, comme point de repère, et que la rivière a été détournée de son cours normal pour que le moulin, le lac et la retenue d'eau puissent être figurés sans superposition avec le bâtiment religieux.

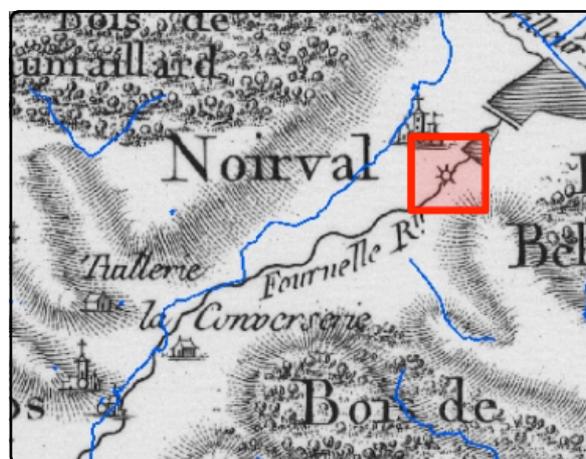


Figure 7 : Exemple d'imprécision spatiale sur la carte de Cassini au nord de la zone de Reims.

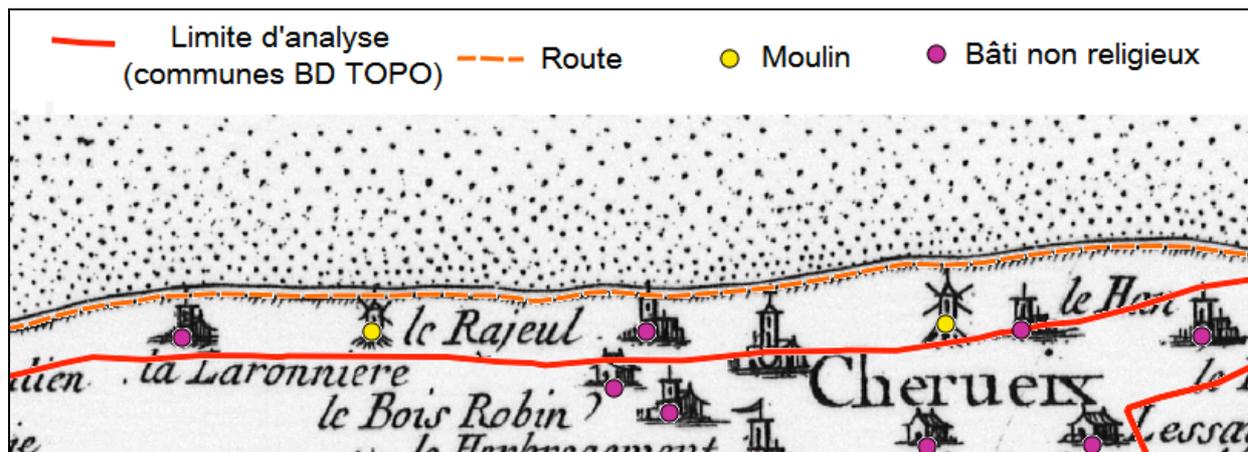


Figure 8 : Décalage du trait de côte sur la carte de Cassini, dans la baie du Mont Saint-Michel.

Par ailleurs, du fait de l'imprécision des instruments, les limites du pays de sont pas les mêmes sur la carte de Cassini que dans la BD TOPO. Ceci ne pose pas problème lorsque que la feuille de travail est au centre de la France, mais pour la zone de Saint-Malo, cela signifie que le trait de côte n'est pas le même que celui des données topo2. Ainsi, comme on peut le voir dans la Figure 8, certains objets des données Cassini ne sont pas inclus dans les limites communales de l'étude : ils ne sont donc pas compris dans l'analyse statistique.

Ces omissions sont parfois insignifiantes à l'échelle des données dans leur ensemble (pour le bâti non religieux par exemple : quelques dizaines sur des centaines voire des milliers d'objets), mais elles peuvent aussi être particulièrement majeure, par exemple pour les routes qui sont déjà peu nombreuses.

De plus, des objets semblables ne sont pas représentés de la même manière : sur la carte de Cassini une ville est représentée par un aplats, mais un hameau est signifié par un point. Ce choix est justifié car tous les objets ne peuvent pas être dessinés dans le détail à l'échelle de cette carte, mais il diffère de celui de la BD TOPO qui représente individuellement chaque bâtiment. La carte d'Etat-Major, quant à elle, possède une information très complète concernant les objets militaires car son utilisateur principal est l'armée. Aujourd'hui, en revanche, pour des raisons de confidentialité et de défense, les objets militaires sont très peu présents dans la BD TOPO et sur les cartes topographiques. Ce biais sélectif a été pris en compte lors de la création des indices équivalents pour chaque époque et minimisé au possible, mais il a tout de même eu une incidence sur l'étude statistique.

Les données utilisées pour l'analyse représentent donc le territoire de manière parfois faussée et imprécise, ce qui entraîne des biais importants pour l'analyse : objets non comptabilisés, attribués aux mauvais individus, surreprésentation de certains types d'objets. Nous souhaitons prendre en considération tous ces problèmes, tant dans la préparation des données que dans l'analyse des résultats.

² Une autre hypothèse serait que la côte ait effectivement reculé : cette explication est rejetée car nous sommes ici au bord du marais maritime de la baie du Mont Saint-Michel, une terre qui a tendance à gagner sur la mer, et non l'inverse.

2.2. Les données démographiques et historiques

S'ajoutent à ces informations topographiques une base de donnée dite « historique » qui décrit l'histoire administrative des communes françaises, depuis 1798 à aujourd'hui : le statut administratif (simple commune, chef-lieu de canton, préfecture, etc.), les événements de redécoupage administratif (création ou disparition de la commune, fusion, cession ou gain de parcelles, changements de nom, etc.).

Les valeurs de population totale des 34 recensements ayant eu lieu depuis 1793 leur sont associés, ainsi que leurs variantes toponymiques. Les communes sont identifiées selon un code système unique, qui permet, selon les époques, de les associer à une géométrie. Ce système supplée au code INSEE court et au nom de communes qui ne sont pas des attributs uniques pour les individus. Selon les dates, la géométrie existe toujours dans le cas des emprises actuelles des communes, alors que ce sont des hypothèses dans le passé, construites à partir d'anciens documents (cadastres et photos) et de données démographiques. Le rapport « L2-3.4 Intégration des données démographiques » [Plumejeaud 2012d] présente en détail cette base de données.

Cette base permet de restituer l'histoire d'une commune, comme le montre la Figure 9 pour la commune de Saint-Malo. Elle permet également de reconstituer, pour une commune actuelle, sa population hypothétique à une date dans le passé, à partir du recensement des populations, à cette date, des communes qui composent l'entité actuelle. La Figure 9 illustre ce type de composition : l'actuelle commune de Saint Malo est constituée en 1807 de trois communes : Saint-Malo (9934 habitants), Paramé (2948 habitants) et Solidor (9255 habitants) (qui s'appelait aussi Saint-Servan-sur-Mer).

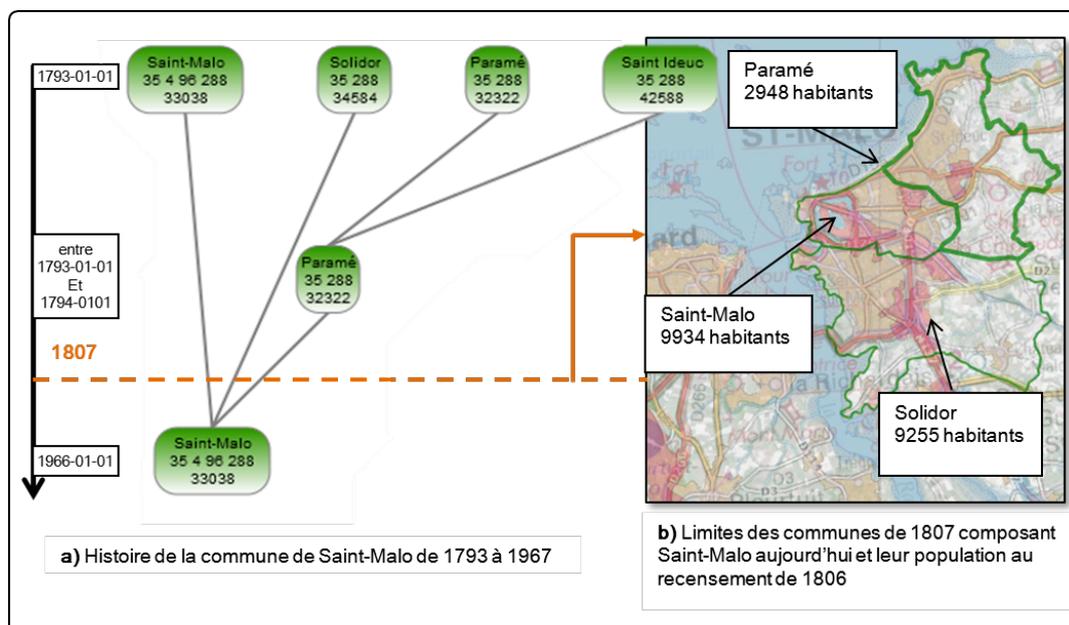


Figure 9 : Visualisation de la base de données historique : exemple pour Saint-Malo.

Chaque commune est associée à un ensemble d'événements et aux valeurs correspondant à ces derniers, datés.

Le changement administratif est observé par des « événements » inscrits dans la base de données [Plumejeaud 2012d] : « absorption d'une autre commune », « perte des parcelles », « commune créée », etc. A chacune de ces modalités nous attribuons une valeur, positive si l'événement correspond à un gain de territoire, et négative si l'événement correspond à une perte de territoire, et dont la valeur correspond l'importance de l'événement pour la commune. Les valeurs attribuées aux événements administratifs sont résumés dans la Table 1. Nous avons en effet considéré qu'une création ou un rétablissement était un événement d'ordre plus important que la simple récupération d'une parcelle (même si cette récupération correspond toujours à une incidence démographique, d'après les spécifications du modèle de données). Et inversement, une disparition est un événement plus fort qu'une cession de parcelle.

A la place de cette valeur qualitative nous aurions pu associer le nombre de kilomètres carrés gagnés ou perdus, cependant nous ne disposons pas systématiquement des limites anciennes de communes. De plus, la surface de territoire absorbée ou perdue n'est pas significative en soit, puisqu'une commune peut perdre un très grand territoire, constitué de marais, ou mal situé, ou bien au contraire gagner un très petit territoire mais qui la place dans une meilleure configuration spatiale (avoir accès à un port, une desserte ferroviaire, etc.).

Valeur	Evénement
+2	La commune est créée ou rétablie (après une disparition passée).
+1	La commune en absorbe une autre au cours d'une fusion ou gagne des parcelles.
- 1	La commune cède des parcelles pour une création de commune ou cède des parcelles tout court.
- 2	La commune est absorbée par une autre au cours d'une fusion ou est simplement supprimée.

Table 2 : Valeurs associées aux événements de l'histoire administrative des communes.

La Figure 10 illustre le mécanisme de calcul de ces indices de changements administratifs sur la commune de Pontorson.

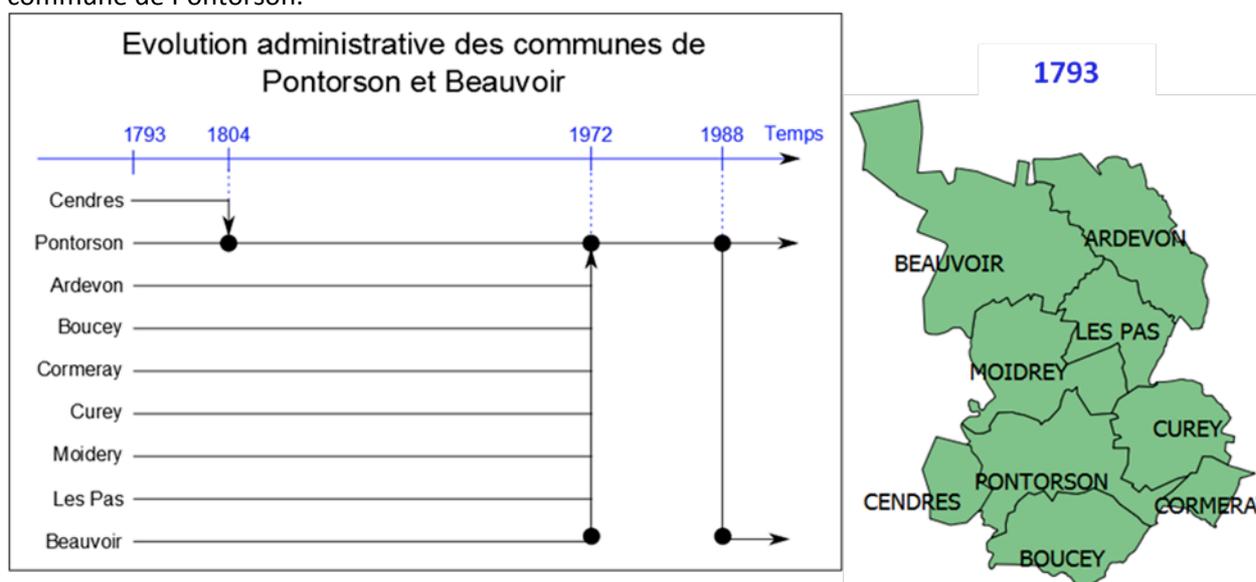


Figure 10 : Evolution de la commune de Pontorson depuis 1793 – état en 1793.

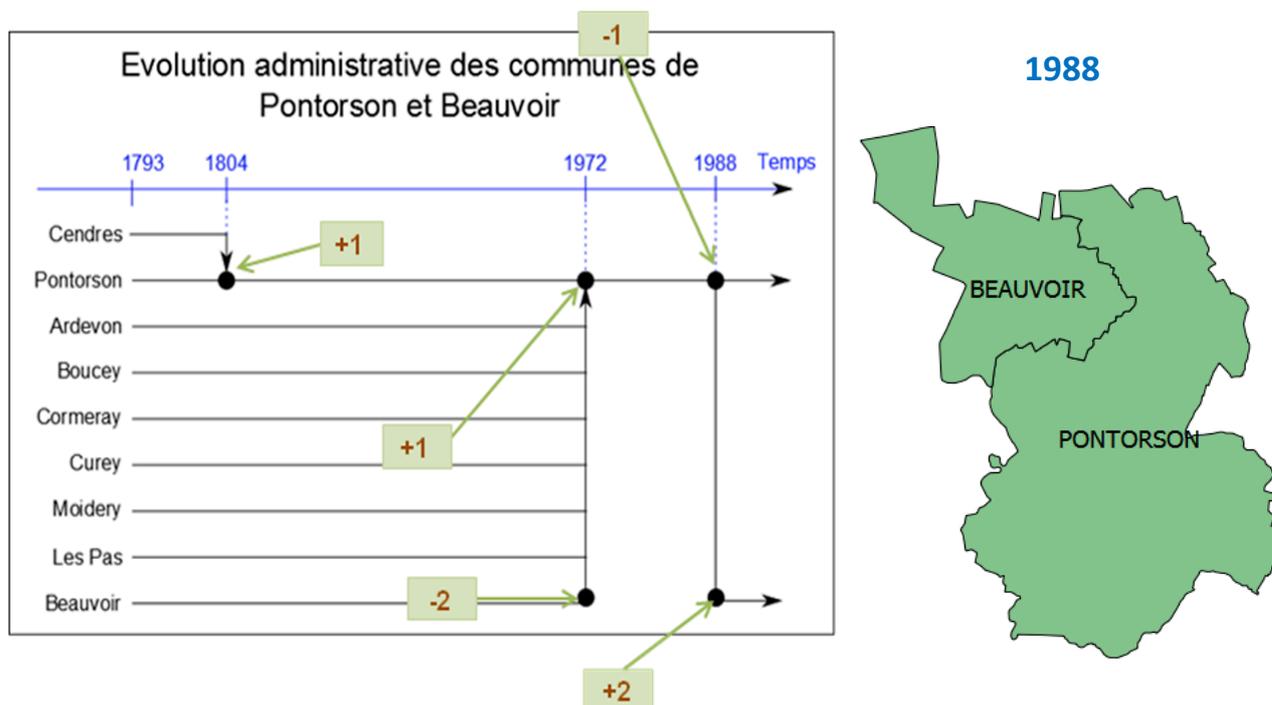


Figure 11 : Evolution de la commune de Pontorson depuis 1793 – état en 1988.

En sus de cette valeur, nous calculons aussi le nombre d'événements qui interviennent sur le territoire (ce qui permet de tenir compte des allers-retours avec les rétablissements, comme dans le cas de Beauvoir) et un booléen indiquant s'il y a eu changement ou non.

Sur notre exemple, voici les valeurs d'indices en 1988 :

Commune	Profil cumulé	Nombre d'événement	Changement observé
Pontorson	1	3	Oui
Beauvoir	0	2	Oui

Tableau 1. Indices de changement administratif – Exemples sur Pontorson et Beauvoir.

2.3. Choix d'une maille d'observation

Pour l'analyse du changement, il est nécessaire de stabiliser un paramètre pour la comparaison au cours du temps, ici le paramètre spatial, en sélectionnant un maillage d'étude stable au cours du temps. Il existe théoriquement plusieurs possibilités :

- les limites des communes telles qu'elles existent dans la BD Topo 2011 ;
- les limites des communes reconstituées dans le cadre du projet : des frontières reconstituées à partir de cartes anciennes ou d'hypothèses à partir des limites actuelles ;
- des polygones issus d'une division automatique du territoire par tessellation centrée sur les clochers de la BD Cassini : une étude du maillage paroissiale en Touraine [Chareille et al. 2004] a montré que des polygones de Thiessen générés sur les clochers sont proches des limites communales réelles.

Nous souhaitons comparer les évolutions fonctionnelles de l'espace à son évolution administrative, or cette dernière est liée à des entités fixes : les communes. Afin de réaliser cette confrontation, il est donc nécessaire d'avoir des profils fonctionnels associés à des communes, ce qui exclue donc l'utilisation de polygones de Thiessen.

Les limites historiques des communes sont intéressantes mais elles restent, pour la plupart, une construction subjective, et, par ailleurs, elles sont encore incomplètes. A partir des limites actuelles et en s'aidant des cartes d'Etat-Major en se déplaçant dans le temps à rebours, les limites anciennes peuvent être reconstituées pour l'époque aux alentours de 1895, mais sur les cartes de Cassini, par exemple, les limites communales ne sont pas tracées. Dans la mesure où il est possible d'avoir des limites fiables pour au moins une époque (le XXI^e siècle), nous nous appuyerons sur celles-ci pour l'analyse factorielle du changement.

Pour chacune de ces études, les communes situées à la limite de nos zones d'étude posent problème. En effet, leur territoire est partiellement tronqué et à des degrés si divers, comme l'illustre la Figure 12, qu'il devient difficile de simplement supprimer toutes les communes en bordure.

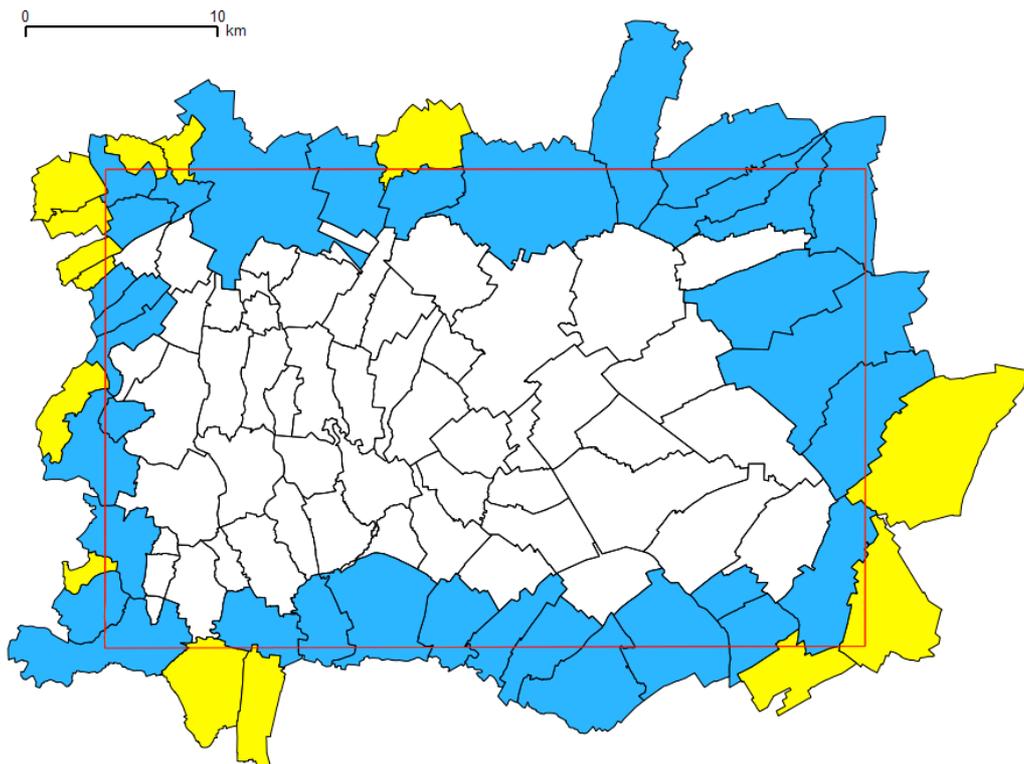


Figure 12: Communes en bordure de la zone de Reims : en jaune celles dont le territoire contenu dans la zone est très faible, en bleu les autres.

De plus, supprimer des communes revient à supprimer des individus statistiques, ce qui n'est pas souhaitable dans la mesure où ils sont déjà peu nombreux. Pour la zone de Saint-Malo, cette solution radicale supprimerait 34 des 62 communes, soit plus de 50% des individus, comme le montre Figure 13.

Cependant, des analyses préliminaires montrent que des communes en bordure dont le territoire inclus dans la zone est extrêmement restreint (les communes en jaune, par exemple, dans la Figure 12) ont une influence notable sur nos résultats.

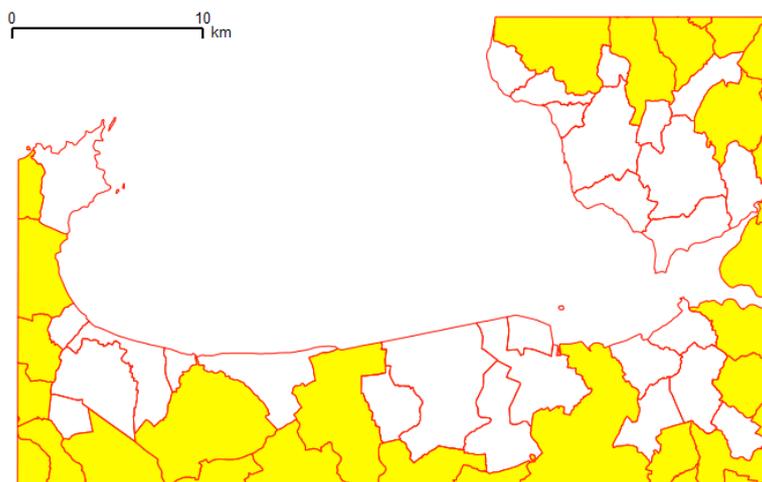


Figure 13: Les communes en bordure de la zone de Saint-Malo (en jaune) représentent plus de 50% du territoire représenté.

Nous faisons donc un choix intermédiaire : toutes les communes en bordure dont l'aire à l'intérieur de la zone est inférieure à l'aire de la plus petite commune entièrement contenue dans l'ensemble des trois zones (1km², Magenta dans la zone de Reims) sont considérées comme trop aberrantes pour faire partie de l'étude. 28 communes sont ainsi supprimées : le nombre d'individus étudiés passe de 265 à 237 (91 pour Grenoble, 58 pour Saint-Malo et 88 pour Reims).

2.4. Construction d'indices fonctionnels

Il s'agit dans un premier temps de vérifier quelles sont les évolutions (fonctionnelles ou économiques) que les données topographiques peuvent aider à caractériser.

Les données topographiques propres à chaque commune nous intéressent car elles permettent de les caractériser d'un point de vue fonctionnel. Notre hypothèse est que les éléments qui constituent un territoire, tels qu'ils sont représentés sur une carte, reflètent une ou plusieurs fonctions de ce territoire. Par exemple, une commune sur laquelle sont installés un grand nombre d'usines sera de type plus industriel qu'une commune qui n'en compte que quelques-unes. Il est ainsi possible d'identifier des communes plus ou moins accessibles, plus ou moins urbaines, offrant plus ou moins de services ou abritant plus ou moins d'activités, etc.

Cependant cette hypothèse ne prend pas en compte toutes les subtilités qui construisent les espaces géographiques. Il est impossible, par exemple, de faire la différence entre des bâtiments habités toute l'année et les résidences secondaires, ou de distinguer, à partir de ces informations brutes, les communes d'ortoirs des espaces touristiques saisonniers. Cette limite est due à la nature même de nos données : les informations vectorisées sont issues de cartes, ou de base de données, dont le niveau d'information sémantique est plutôt faible. Pour cette raison, nous nous aidons d'une bibliographie sur l'histoire et la géographie des territoires d'études [Gamblin 2000; Estienne 1991], et sur l'histoire des cartes et des données [Berthaut 1898; Morizet 2008; Cenat 2008; Pelletier 1990; de Dainville 1964]. Ces sources permettent de mieux comprendre le *biais sélectif* (les natures d'objets choisis pour être représentés ne sont pas les mêmes sur les différentes cartes) inhérent à la cartographie, et particulièrement visible lorsque des cartes anciennes sont comparées avec des représentations actuelles, et donc de mieux appréhender la sémantique des informations exploitées.

Pour illustrer la question du biais sélectif, nous prenons l'exemple des croix et calvaires. En effet, le rapport [Plumejeaud C. 2012b] a montré que les croix et calvaires sont représentés de façon

systématique sur les cartes de Cassini, alors qu'a priori leur utilité n'est guère évidente du point de vue du lecteur contemporain du XXIème siècle. Voici donc ce que dit Cénat au sujet des cartes dessinées à la manière de Cassini au XVIIIème siècle, p29 : « Par souci de lisibilité ou par impossibilité technique, les cartes ne permettaient pas toujours de représenter tous les éléments importants d'une région et les techniques de représentation du relief n'étaient guère satisfaisantes.[...] Elle donne une vue de la région au fil de la marche, à la manière d'un itinéraire touristique, mais à vocation militaire. Sont indiquées les distances entre les villes en lieues et le temps qu'il faut pour les parcourir, vingt-deux heures, par exemple, pour aller de Dorsten à Lippstadt. Chamlay insiste sur les différentes voies de communication, leurs intersections, *les points de repère, comme un arbre isolé ou une croix*, et sur les points de rupture que sont les gués, ponts et bacs. ».

Or, nous avons étudié le contenu de la BDTopo 2011, sur la classe PAI_Religieux, pour les natures de Croix qui regroupent, d'après les spécifications de la BDTopo [IGN 2011], les éléments suivants : « Monument religieux : croix, calvaire, vierge, statue religieuse. ». Sur la zone de St Malo, sur une surface traitée de 180 km², nous avons constaté un défaut de mise à jour de la BDTopo sur ces objets (seulement 25 sont présents sur les 63 objets), voire la Figure 14. Mais ceci peut s'expliquer par le fait qu'aujourd'hui, ces calvaires ne sont plus si utiles à l'orientation sur le terrain, puisque celui-ci est régulièrement balisé avec les panneaux routiers.

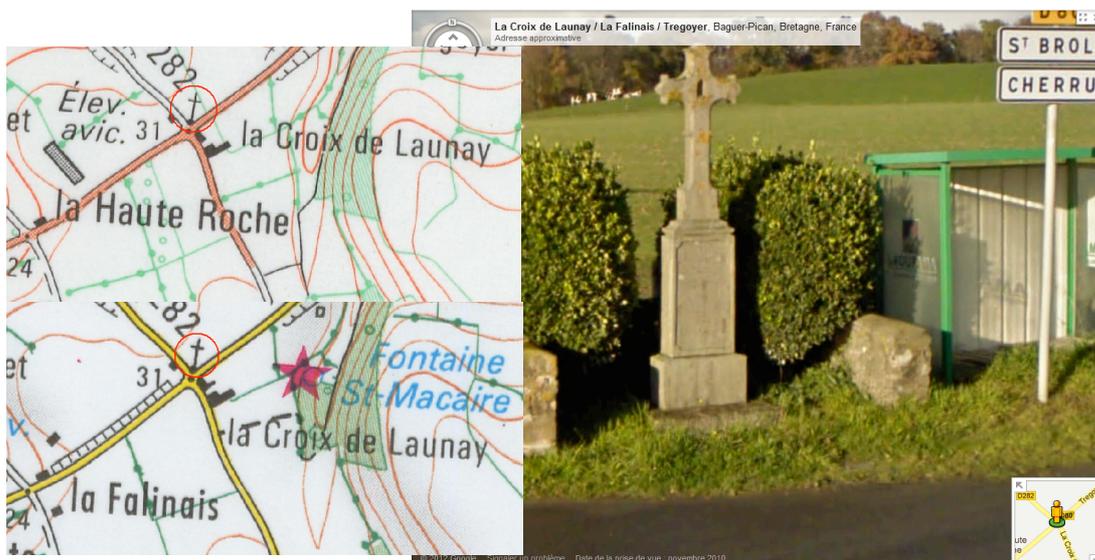


Figure 14. Croix présente en 1976 (carte haut), 2008 (carte bas) et 2010 (photo Google Street View), mais absente de la BDTPO 2011.

Car, de fait, même si nous parlons de territoire, de communes, d'activité, etc., par facilité, il ne faut pas omettre le fait que ce n'est pas ici le territoire en lui-même qui est analysé, mais bien sa *représentation cartographique*. Ceci est bien entendu valable pour les cartes historiques, dont la simplification et les imprécisions nous semblent évidentes car nous sommes moins habitués à ces formes de représentation, mais c'est également le cas pour la base de données « contemporaines ». Celle-ci peut avoir l'air plus juste, plus représentative de la réalité car plus formelle, construite avec des moyens plus modernes, mais elle reste absolument une figure du territoire, et non le territoire en lui-même.

On peut donc résumer ainsi le questionnement qui guide notre étude : les changements de profils territoriaux (limites administratives essentiellement) sont-ils une conséquence de changements fonctionnels, eux-mêmes reflétés par des changements topographiques ?

2.4.1. Cassini versus BDTopo

Plusieurs types d'indices sont construits :

- les indices dits « fonctionnels » sont ceux qui reflètent les propriétés fonctionnelles de la commune : urbanité, dispersion ou non de l'habitat, industrie, services, accessibilité, etc. Le nombre de bâtiment industriel ou le pourcentage de territoire occupé par les villes dans chaque commune sont, par exemple, comptabilisés ;
- les indices dits « naturels » : ils caractérisent le profil « naturel » de la commune, et ils sont statiques (ils sont les mêmes à toutes les époques³) : hydrographie, altitude, pente.

Les indices naturels ne seront pas utilisés dans l'étude du changement fonctionnel, car leur stabilité va à l'encontre de ce qui est au centre de l'étude : le changement. Ils peuvent intervenir dans une étude de l'organisation du territoire des communes à un temps t, venant compléter l'étude du changement fonctionnel.

Les indices sont principalement créés par requêtes SQL sur les bases de données dans les langages PostgreSQL/PostGIS. Pour certains indices des fonctionnalités des logiciels ArcGIS et QGIS ont également été utilisées. Le principe de base des requêtes est le suivant :

- 1) Les objets vectoriels ponctuels sont dénombrés avec la fonction *count(*)* et ne sont comptabilisés que s'ils sont inclus dans les limites avec la fonction *st_contains* :

Résultat pour une requête *st_contains* puis *count(*)* sur deux objets ponctuels et deux objets surfaciques :

Individu jaune : true, 2
Individu bleu : false, 0

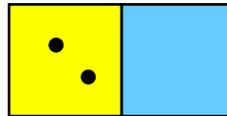


Figure 15: Illustration du fonctionnement des fonctions *st_contains* et *count(*)*.

Code pgSQL :

```
ALTER TABLE <table_stockage_des_résultats> ADD COLUMN <colonne_indice>integer DEFAULT 0;
UPDATE <table_stockage_des_résultats> AS c1
  SET <colonne_indice> = (
    SELECT count(*)
    FROM <table_stockage_des_résultats> AS c, <table_objets_ponctuels> AS b
    WHERE st_contains(c.geometry, b.geometry)
    AND <autres conditions>
    AND c.gid=c1.gid );
```

³ Si nous considérons sa représentation cartographique, l'hydrographie évolue beaucoup entre les cartes de Cassini et d'Etat-Major et la BD Topo, mais il ne s'agit pas ici d'étudier précisément le *dessin* de l'hydrographie naturelle (qui est extrêmement imprécis sous Cassini). De ce fait nous considérons que l'hydrographie naturelle est restée inchangée en trois siècles (ce qui est faux, comme le signifie l'exemple de la Bièvre, recouverte intégralement à Paris en 1912 et dès lors absente des cartes). En revanche, l'évolution de l'hydrographie artificielle est prise en compte dans l'étude du changement.

Ces résultats sont normalisés en les divisant par l'aire des polygones représentant les communes.

- 2) L'exercice est plus compliqué pour les objets linéaires et surfaciques, dont nous voulons récupérer la longueur ou l'aire par commune. En effet, leurs limites ne sont pas forcément incluses dans celles des communes, ce qui rend impossible la requête précédente : les objets ne seront jamais comptés. D'autres fonctions sont disponibles sous PostGIS, mais qui posent chacune un problème. *st_intersects* comptera ainsi les objets autant de fois qu'ils touchent la géométrie des communes, ce qui est également faux. La Figure 16 présente les résultats de ces deux requêtes pour un objet linéaire.

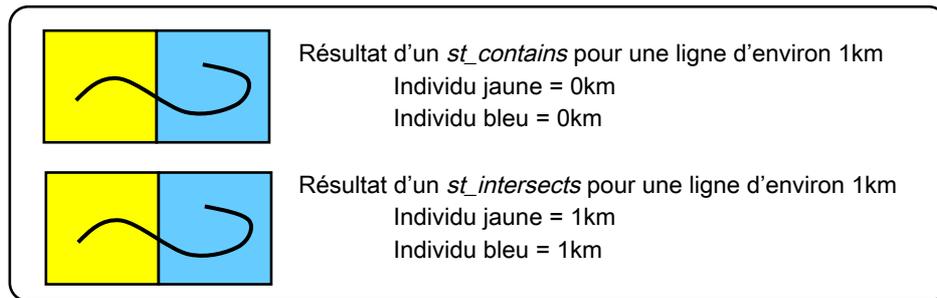


Figure 16 : Illustration du fonctionnement des fonctions *st_contains* et *st_intersects*.

Avant d'insérer les résultats, il est donc nécessaire de découper les objets linéaires ou surfaciques en fonction des limites communales. Cette opération est effectuée avec la fonction *st_intersection* (cf. annexe 2) pour un exemple de code complet). Le résultat est illustré par la Figure 17.

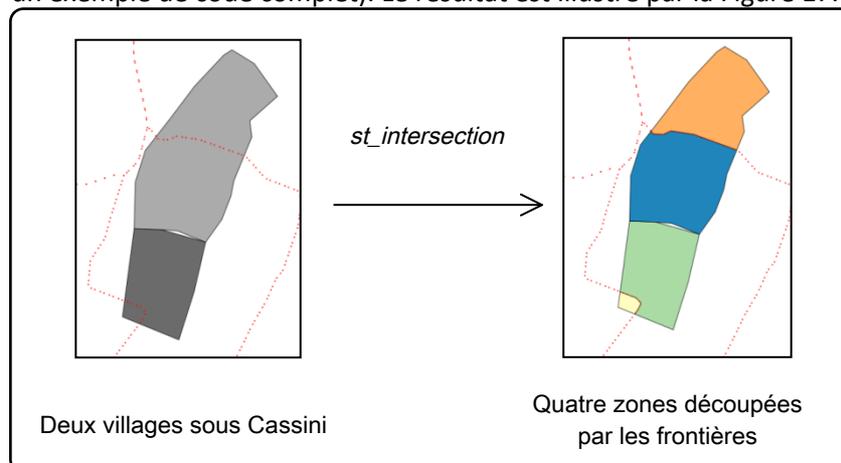


Figure 17: Illustration du découpage par les limites communales pour des objets surfaciques.

Une fois le découpage effectué, il reste impossible d'utiliser les fonctions *st_contains* ou *st_intersects* dans la mesure où les objets ont au moins une limite en commun avec les communes. Il faut utiliser un élément propre à chaque objet, qu'on associera à la commune le contenant, comme le centroïde de l'objet (fonction *st_centroid*). Cependant, du fait des formes possiblement complexes des objets linéaires ou surfaciques ainsi que des communes, ce dernier n'est pas forcément compris dans la bonne commune, comme le montre la Figure 18. C'est pourquoi nous utilisons la fonction *st_pointonsurface* qui retourne un point contenu dans l'entité.

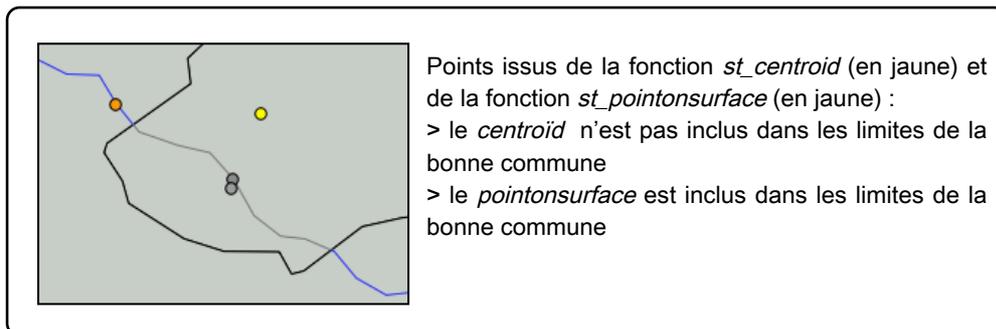


Figure 18: Différence entre les fonctions *st_centroid* et *st_pointonsurface*.

Code SQL pour les objets linéaires :

```
ALTER TABLE <table_stockage_des_résultats> ADD COLUMN <colonne_indice> DOUBLE PRECISION;
UPDATE <table_stockage_des_résultats> AS c1
  SET <colonne_indice> = (
    SELECT sum(st_Length(geometry)/1000)
    FROM <table_stockage_des_résultats> AS c, <table_objets_linéaires_coupés> AS b
    WHERE ST_Contains(c.geometry, st_pointonsurface(b.geom))
    AND <autres conditions>
    AND c.gid=c1.gid);
UPDATE <table_stockage_des_résultats> SET <colonne_indice> = 0 WHERE <colonne_indice> IS NULL;
```

Les résultats sont normalisés en les divisant par l'aire des polygones représentant les communes. La division par 1000 permet de passer des mètres aux kilomètres.

Code SQL pour les objets surfaciques :

```
ALTER TABLE <table_stockage_des_résultats> ADD COLUMN <colonne_indice> DOUBLE PRECISION;
UPDATE <table_stockage_des_résultats> AS c1
  SET <colonne_indice> = (
    SELECT sum(st_area(geometry)/1000000)
    FROM <table_stockage_des_résultats> AS c, <table_objets_linéaires_coupés> AS b
    WHERE ST_Contains(c.geometry, st_pointonsurface(b.geom))
    AND <autres conditions>
    AND c.gid=c1.gid);
UPDATE limite_analyse SET c_n_hydro_tt = 0 WHERE c_n_hydro_tt IS NULL;
```

Les résultats sont normalisés en les transformant en un pourcentage de la surface des polygones représentant les communes. La division par 1 000 000 permet de passer du m² au km².

A partir de cette requête de base, des indices du plus simple au plus complexe peuvent être construits en combinant les étapes antérieures à la requête et/ou en ajoutant des conditions à celle-ci (Tableau 2). Les informations issues de la base historique permettent de créer des indices tels que la densité de population ou le statut de chef-lieu de canton.

	Cassini	Topo
Nombre de routes	- classe : voie - nature = 1	- classe : routes - importance = 1,2,3 {3 seulement routes à 2 chaussées}
Nombre de routes afférentes	- voie - nature = 1	- routes - importance = 1,2,3 - 3 seulement routes à 2 chaussées
Nombre de bâtiments industriels	- classe : moulins & industrie - nature = tout sans les moulins à vent (2,3)	- classes : PAI industriel commercial - nature = ZI, usines
Nombre de bâtiments religieux	- classe : religieux - nature = tout	- classe : bâti remarquable - nature = Bâtiment religieux divers, Chapelle, Eglise
Nombre d'églises	- classe : religieux - nature = 1 (Eglises/clochers)	- classe : bâti remarquable - nature = Eglise
Nombre d'habitats dispersé	- classe : non religieux ponctuel - nature = écart, cabane, gentilhommière, cabaret, (2,5,6,7)	- classe : bâti indifférencié en dehors des enveloppes urbaines générées sous ArcGIS
Surface urbaine	- classe : habitat urbain (tout) - classe : non religieux ponctuel / buffer (200m) autour des points de nature hameau	- surface des enveloppes créées sous ArcGIS qui contiennent plus de 4 bâtiments
Nombre de ponts	- classe : pont - nature = pont, écluse, bac (1,2,3)	- classe : construction linéaire / nature = pont - classe : construction surfacique / nature = pont, Ecluse
Nombre de bâtiments militaires	- classe : non religieux ponctuel - nature = fort et redoutes, batterie, corps de garde, autre (4,8,9,12 {12 où description = 'Tour%'})	- classe : pai administratif militaire / nature = enceinte militaire, gendarmerie, ouvrage militaire ; nature - classe : bâti remarquable / nature = Fort, Blockhaus, Casemate
Nombre de postes	- classe : cassini_non_religieux - nature = relais de poste (10)	- classe : pai administratif militaire - nature = Bureau ou hotel de poste
Kilomètre de cours d'eau artificiels	- classe : hydrographie linéaire - nature = 5,6,7,(8)	- classe : troncon hydro - artif (booléen) = true
Densité de population	- Source : BD histoire, 1793	- Source : INSEE, 2006
Statut de chef-lieu	Source : BD histoire 0 = non / 1 = de canton / 2 = d'arrondissement / 3 = de département	
Pente et Altitude moyenne	- classes : mnt_alt, mnt_pente / valeur moyenne	

Tableau 2. Liste des indices calculés sur Cassini et leur équivalent BDTopo.

Certains indices nécessitent un traitement plus complexe que nous décrivons ici.

2.4.1.1. Nombre de routes afférentes par communes

Pour mesurer l'accessibilité d'une commune, plusieurs indices sont construits qui prennent en compte principalement les routes. Les voies de communications sont à l'origine de deux indices. Le premier est un indice simple : la longueur totale du réseau sur la commune. Il renseigne sur le degré d'équipement routier qu'une entité contient, mais il n'exprime pas spécifiquement si elle est bien reliée à ses voisines, puisque les kilomètres de réseaux peuvent être uniquement internes à cette commune. Pour représenter l'accessibilité sur le réseau routier, un deuxième indice a donc été créé : le nombre de voies afférentes par commune, c'est-à-dire le nombre d'arcs du réseau qui dessert la commune. La Figure 19 illustre la différence entre les deux indices.

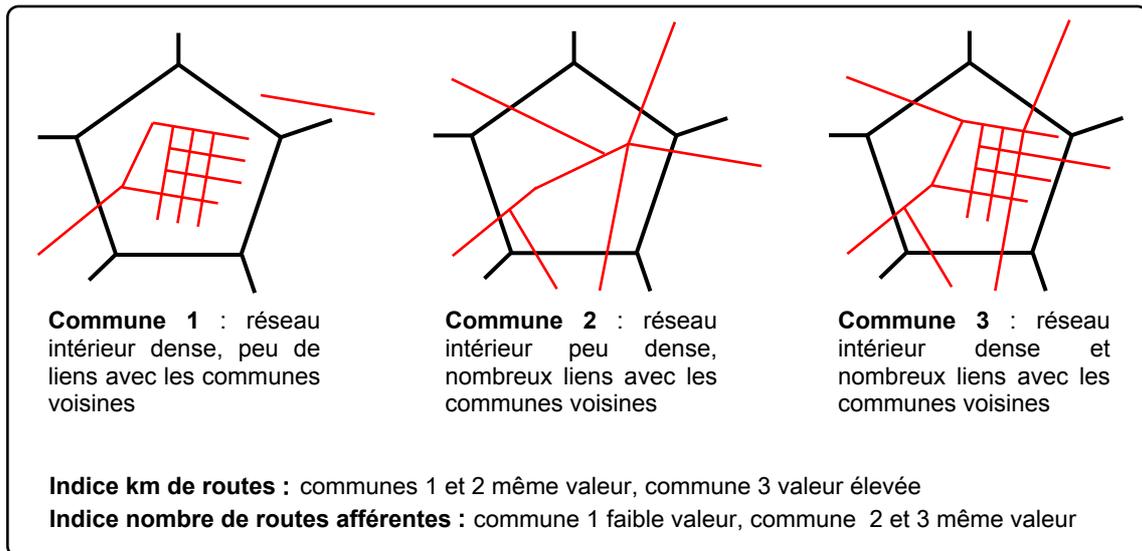


Figure 19 : Différence entre deux indices sur le réseau routier.

Pour construire l'indice du nombre de voies afférentes, les fonctions *st_intersects* et *st_crosses* ne sont pas adaptées : elles ne renvoient pas un nombre d'intersections ou de croisements mais un booléen indiquant s'il y a intersection ou croisement entre les deux objets. Ainsi, pour une route, représentée par un seul objet linéaire, qui traverse la commune de part en part, nous voulons que le résultat soit de deux (deux arcs desservent la commune) : avec ces fonctions il sera de un. La Figure 20 montre les résultats pour ces fonctions sur un exemple type.

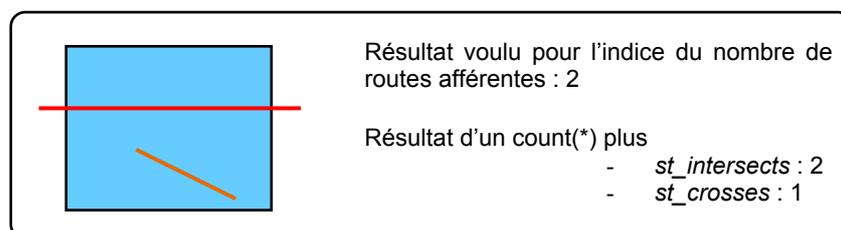


Figure 20 : Résultats des fonctions *st_intersects* et *st_crosses* pour l'indice « nombre de routes afférentes ».

Pour calculer cet indice, une autre fonction a été utilisée : *st_split*, qui découpe un polygone en fonction d'une ligne, disponible uniquement sur Postgis 2.0. Le nombre de polygones résultant de cette découpe correspond au nombre d'intersections entre la ligne et l'entité de départ, comme le montre la Figure 21. Cette méthodologie permet aussi de comptabiliser les lignes qui n'intersectent qu'une fois une commune car le polygone est renvoyé sans modification par *st_split* (la valeur récupérée est alors 1).

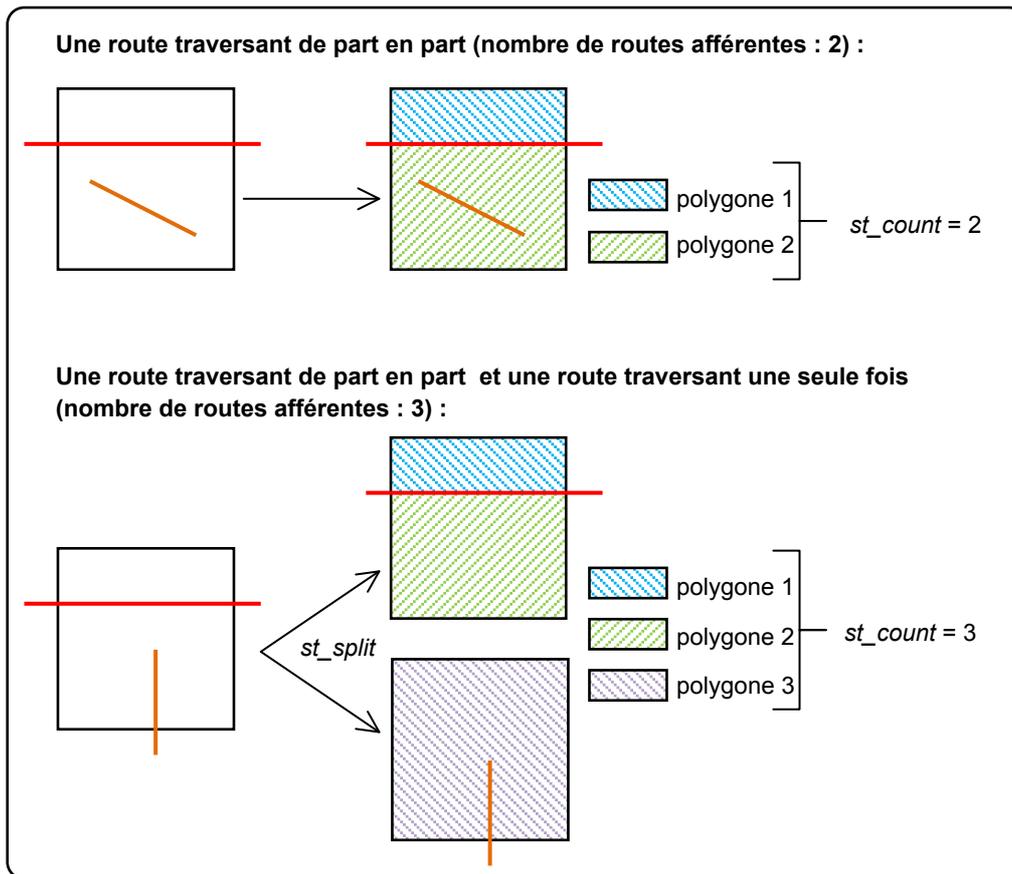


Figure 21 : Utilisation de la fonction *st_split* pour compter le nombre de routes afférentes à une commune.

L'utilisation de cette méthodologie induit deux erreurs. Tout d'abord, lorsqu'une commune est composée de plusieurs polygones (communes comprenant une ou plusieurs îles dans la baie du Mont Saint-Michel, ou communes en bordure de zone que le découpage a divisées en plusieurs polygones), le nombre renvoyé par la requête est faux, puisque la fonction *st_split* renvoie chacune des parties découpées. Cette erreur concerne 13 communes, elle a été corrigée manuellement. La deuxième erreur est inhérente au mode de calcul : quand une limite de polygone serpente sur une route, comme l'illustre la Figure 22. Ces entrées et sorties très proches ne peuvent pas être considérées comme plusieurs tronçons afférents.

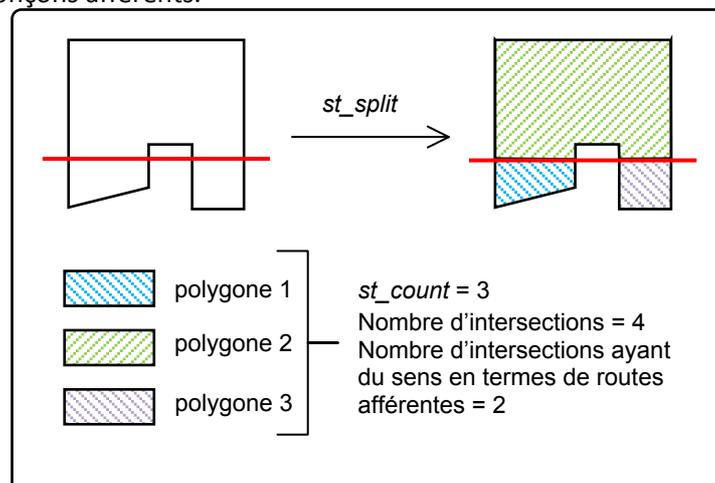


Figure 22 : Exemple où la fonction *st_split* est inexacte pour le calcul du nombre de routes afférentes.

La Figure 22 montre que cette erreur est minimisée, mais elle ne peut pas être corrigée automatiquement, ni manuellement (l'opération serait extrêmement longue). Cependant, nous considérons qu'un nombre un peu supérieur à ce que l'on recherche n'est pas gênant : si les limites d'une commune suivent à peu près le tracé d'une route, c'est que cette première est bien desservie par le réseau.

Une fois la méthodologie établie, il faut choisir le type de route qui est comptabilisé. En effet, pour la BD TOPO, le réseau routier est renseigné à un niveau très fin (elles sont classées par importance et par morphologie : une ou plusieurs chaussées, par exemple), tandis que seules les routes les plus importantes sont enregistrées dans les données Cassini, comme l'illustre la Figure 23 sur la zone de Dol de Bretagne.

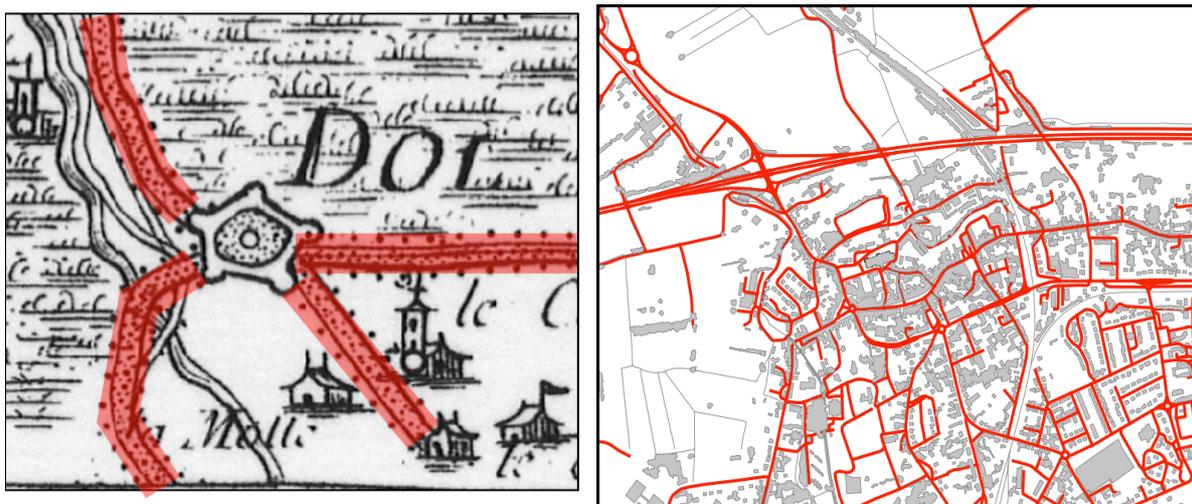


Figure 23 : Zone de Dol de Bretagne - A gauche : Routes sur Cassini, A droite : Routes sur BDTopo.

Sur la carte ancienne, pour les zones de Grenoble et de Reims, plusieurs niveaux de routes sont dessinés (voies royales, routes non empierrées, routes projetées, etc.), pour la zone de Saint-Malo, seule les voies royales sont représentées. Cela ne signifie évidemment pas que cette zone n'était desservie que par les voies royales, mais que sur ce territoire seul ce réseau a été saisi. Pour les données Cassini, nous ne comptabilisons donc que les routes de ce niveau d'importance. Pour les données topo, il faut ainsi choisir des routes dont la fonction est la même, aujourd'hui, que celle des routes royales au XVIIIe siècle. Ce choix s'est basé sur les réflexions de Verdier et de Robert sur l'évolution du réseau routier de l'antiquité à aujourd'hui [Robert & Verdier 2009; Verdier 2009; Robert 2006]. Le réseau des routes royales est utilisé pour les voyages de grande distance, de ville à ville. Parmi les données topo, les routes les plus importantes, et destinées à des trajets longs, ont été sélectionnées : les routes de niveau 1, de niveau 2, et celle de niveau 3 à deux chaussées séparées, comme le montre la Figure 24.

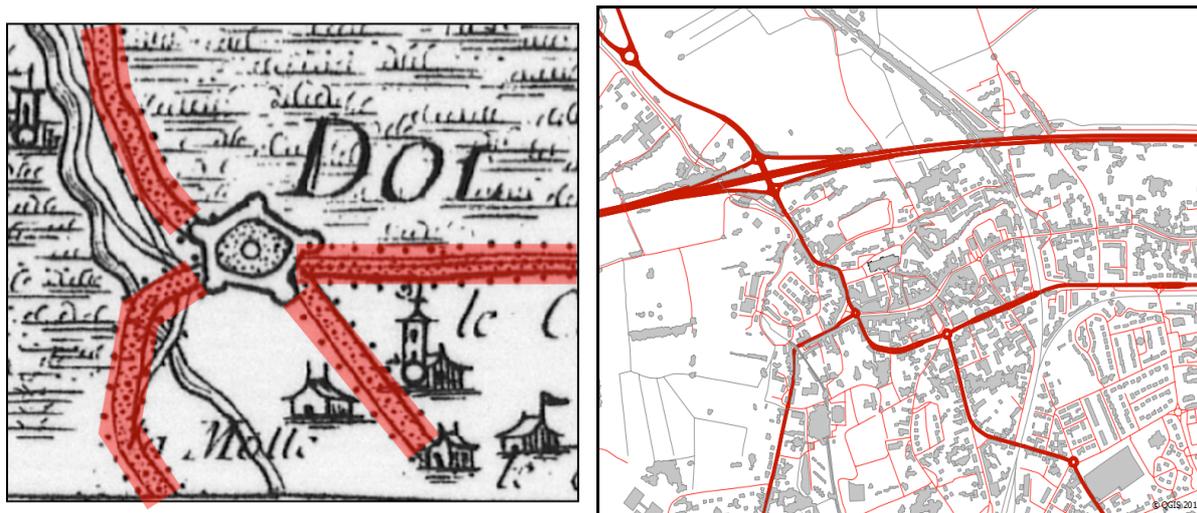


Figure 24 : Zone de Dol de Bretagne – Sélection de niveau équivalents sur la BDTopo.

2.4.1.2. Surfaces d'espaces urbains et nombre d'habitat dispersé

L'indice « surface urbaine » correspond à l'aire occupée par les villes, les villages, les bourgs, les hameaux, c'est-à-dire par l'ensemble des espaces d'habitat dense et aggloméré, le tissu bâti, en opposition à l'habitat dispersé. La nature de cet indice a été choisie en fonction des données Cassini où les agglomérations (villes et bourgs) sont dessinées et saisies sous la forme d'objets surfaciques, comme l'illustre la Figure 25.



Figure 25 : Représentation de la ville de Reims et de ses faubourgs sur la Carte de Cassini.

Ces objets forment une partie de l'indice « urbain ». L'autre partie est constituée par les hameaux, seulement, ceux-ci sont renseignés comme des points. Il faut donc attribuer une surface à chacun de ces points, ce qui est fait sous la forme de buffer. Pour la taille de ce dernier, nous nous sommes appuyés sur la définition d'une zone de bâti continu donnée par l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) : un tissu bâti est continu s'il n'existe pas de coupure de plus de 200m entre deux constructions [Institut national de la statistique et des études économiques, 2012a].

Il a donc été décidé qu'à chaque hameau correspond un buffer de 200m de diamètre (soit 12,6 ha). Lorsque ces objets surfaciques se superposent, ils sont fusionnés afin de ne pas compter deux fois le même espace dans le calcul.

L'indice « habitat dispersé », le pendant à l'indice « urbain » comptabilise le nombre d'objet de la classe « bâtis non religieux » de nature : écart, cabane, gentilhommière, cabaret.

Parmi les données topo, il n'existe pas de surface représentant directement ces espaces : le niveau de précision y est assez fin pour que chaque bâtiment soit renseigné. Une classe rassemble tous les bâtiments indifférenciés, c'est-à-dire le bâti sans fonction, l'habitat. Pour créer ces surfaces, nous créons des enveloppes à partir des objets de cette classe, qui répondent à deux contraintes :

- Les limites des enveloppes se situent là où deux bâtiments sont séparés de plus de 200m, en suivant la règle de l'INSEE ;
- Les enveloppes qui contiennent peu de bâtiments sont supprimées car elles ne correspondent pas à du tissu urbain (il peut par exemple s'agir d'une maison à deux bâtiments, d'une ferme avec un corps principal et des espaces de stockage, etc.). Les spécifications de l'IGN pour la définition d'un hameau ont été utilisées pour déterminer le nombre critique de bâtiments : en dessous de 4 bâtiments, l'enveloppe est supprimée.

La création de ces enveloppes est en fait plus simple que la définition de l'INSEE. En effet, depuis 2010 cette dernière prend en compte non seulement l'habitat, mais aussi des éléments comme les usines, les cimetières ou les parcs, ce qui n'est pas notre cas.

Une première enveloppe est calculée sous ArcGis avec l'outil *Agréger des polygones de la boîte à outil Cartographie*, avec une distance d'agrégation de 200m. Néanmoins, sur certaines zones, le résultat est trop grossier et ponctuellement mal adapté. Une autre enveloppe a donc été générée avec une distance d'agrégation de 100m. Cette dernière, comme l'illustre la Figure 26, est plus appropriée à la forme urbaine naturellement dessinée par les bâtiments. C'est donc cette dernière distance limite entre deux bâtis qui est choisie pour l'enveloppe urbaine.

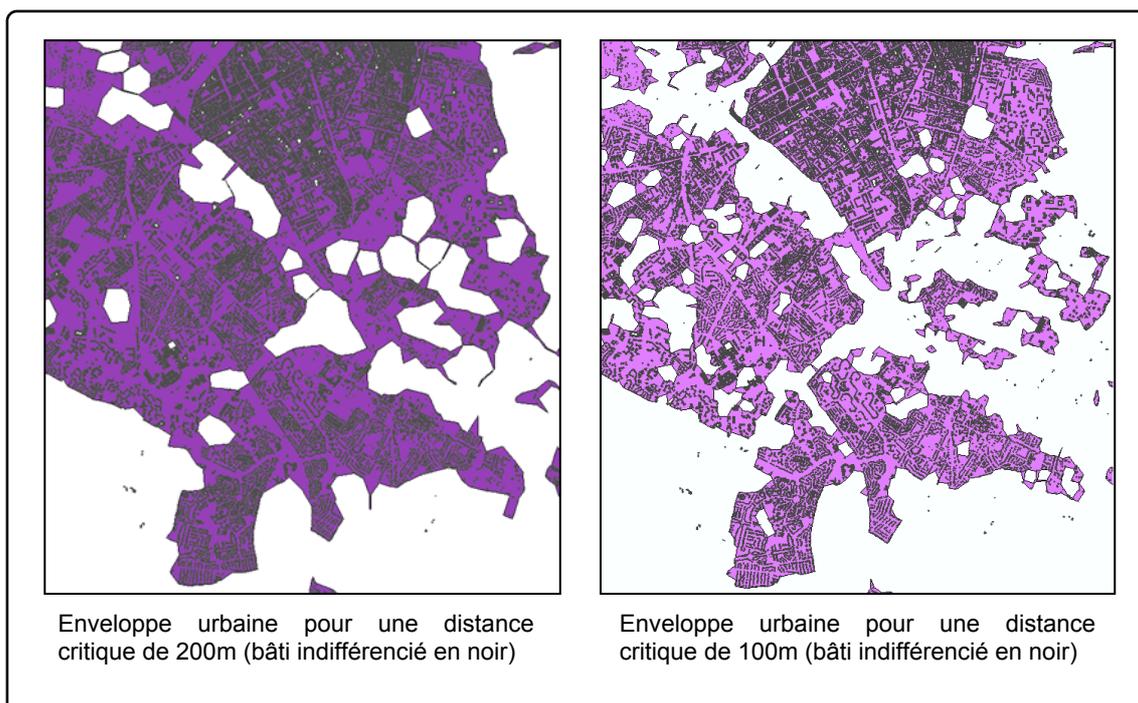


Figure 26 : Comparaison des deux enveloppes urbaines sur l'agglomération de Reims.

La surface des enveloppes contenant plus de 4 bâtiments constitue l'indice « urbain », et l'ensemble du bâti indifférencié situé hors de ces enveloppes constitue l'indice « habitat dispersé ».

2.4.1.3. Densité de population

Pour l'indice de l'époque actuelle, les données INSEE du recensement de 2006 sont utilisées. Celui-ci comptabilise deux types de population [Institut national de la statistique et des études économiques, 2012b] :

- La population municipale : toutes les personnes ayant leur résidence habituelle sur le territoire de la commune, dont les prisonniers, les sans-abris et les populations nomades, et ce sans double compte (chaque personne est comptée une fois et une seule dans une seule commune) ;
- La population comptée à part : les personnes dont la résidence habituelle est ailleurs mais qui ont tout de même une résidence sur la commune (étudiants majeurs, retraités, communautés religieuses, établissement militaires...).

La somme de ces deux populations donne la population totale, où il existe des doubles comptes. Pour l'étude, nous utilisons uniquement la population municipale, sans doubles comptes.

Les fichiers en format Excel du recensement pour les départements de notre étude sont téléchargés, enregistrés en format CSV puis importés dans la base de données. La population est associée à chaque commune grâce au code INSEE court qui les identifie dans la table de recensement et la table où sont rentrés les indices.

Pour l'indice au XVIIIe siècle, la tâche est plus compliquée dans la mesure où les communes n'avaient pas la même emprise qu'aujourd'hui. Il s'agit donc pour chaque commune actuelle de lui agréger les populations des communes la composant pour une date de recensement choisie. Par exemple, pour la population de Saint-Malo en 1806, les populations des trois communes la composante à cette date (Saint-Malo, Paramé et Solidor, cf. Figure 1) sont additionnées, ce qui revient à 22837 habitants.

Une procédure a été développée en Java pour effectuer automatiquement ce calcul pour les populations au recensement choisi, (ici de 1793). Sur les 237 communes de l'étude, 14 ne sont pas renseignées, soit parce que la donnée du recensement 1793 est manquante, soit parce que leur limite n'ont pas été reconstituées. Elles sont éliminées de l'étude statistique, ce qui porte le nombre d'entité à 223.

Pour calculer l'indice de densité de population, il faut diviser la population par la surface des communes. La surface des polygones tronqués par les limites des zones d'étude ne peuvent pas être utilisés : le nombre d'habitat par km² serait alors complètement faussé puisque la population est recensée sur le territoire entier des communes. Ce sont donc les surfaces des 223 communes avant qu'elles ne soient coupées qui sont utilisées pour construire cet indice.

2.4.1.4. Traitement du Modèle Numérique de Terrain

Le traitement du Modèle Numérique de terrain a été effectué en plusieurs étapes :

- Téléchargement et découpe des zones de la BD ALTI correspondant aux trois zones de travail, enregistrement des fichiers en format GeoTIFF ;
- Génération d'un raster altitude et d'un raster de pente sous QGIS pour chaque zone (nous n'avons pas utilisé de raster unique rassemblant les données pour les trois zones d'étude car un tel fichier était trop lourd pour l'étape suivante) ;
- Chargement des rasters dans la base de données avec l'outil de PostGIS *rastertopogsql* ;
- Calcul des altitudes minimum, maximum et moyenne et de la pente moyenne par commune sous Postgis (version 2.0) avec la fonction *st_summarystats*.

Code SQL pour l'intégration de la statistique « altitude moyenne » à la table cible, pour la zone de Grenoble (codée 1) :

```
ALTER TABLE <table_stockage_des_résultats> ADD COLUMN alt_moy integer DEFAULT 0;
UPDATE <table_stockage_des_résultats> AS c1
  SET alt_moy = (
    SELECT (stats).mean
    FROM (
      SELECT st_summarystats ( st_clip ( b.raster, c2.geometry ) ) AS stats, c.gid
      FROM altitude_grenoble AS b, <table_stockage_des_résultats> AS c
      WHERE c1.zone_id=1) AS a
      WHERE a.gid=c1.gid)
  WHERE c1.zone_id=1;
```

2.4.2. Etat-Major versus BDTopo

La liste des indices qu'il est possible de construire à partir de la BDTopo est très ressemblante, mais elle est étendue avec les données de la desserte ferroviaire qui apparaît au XIX^{ème} siècle et qui est à son apogée en 1890 date de nos cartes. Ainsi, le nombre de desserte ferroviaire par commune peut être un indice de développement très intéressant, ainsi que la distance à la desserte ferroviaire la plus proche.

Par ailleurs, les objets à vocation militaire sont sur-représentés sur la carte de l'Etat-Major en comparaison de Cassini mais surtout de la BDTopo (Tableau 3), et font de plus l'objet de représentation multiples. Ainsi pour comparer le nombre d'ouvrages militaires, nous nous basons sur un décompte de leur représentation, plutôt que sur l'aire des représentations surfaciques, puisque d'une part, comme l'indique une ordonnance reproduite dans [Berthaut 1898] (instructions de 1823 pour le figuré du terrain - pages 298-302 du tome I de Berthaut) ces représentations sont grossies par rapport à la réalité, et, d'autre part, ce décompte permet de fusionner dans un même indice les représentations ponctuelles avec les représentations surfaciques.

Nature	Cassini Non_religieux	Etat-Major Ouvrage_militaire_ponctuel Ouvrage_militaire_lineaire Ouvrage_militaire_surfacique	BDTopo PAI_administratif_militaire
Fort ou redoute ou tour ou ouvrage militaire	17	37	1
Batterie, ligne de tir, entrepôts ou espace réservé	1	15	0
Corps de garde, caserne, enceinte militaire	30	9	0
Total	48	64	1

Tableau 3. Décompte des représentations d'ouvrages militaires.

Concernant l'étalement urbain, les données saisies sur l'Etat-Major permettent également des mesures plus fines puisque tout le bâti indifférencié est représenté, sous la forme de ponctuels. Par ailleurs, nous pouvons nous servir des enveloppes urbaines dessinées à la main par les opérateurs de saisie comme expliqué dans [Plumejeaud 2012c].

L'indice « surface d'habitat groupé » est constitué à la fois de la surface des polygones de la classe « commune » de la base de données Etat-Major et de la surface des hameaux, des polygones construits suivant la méthodologie établie pour les enveloppes urbaines issues de la BDTopo. On

cherche à envelopper les éléments des classes « bâti » et « bâti civils » qui ne sont pas contenus dans la classe « commune ». L'algorithme du logiciel ArcGis étant beaucoup moins performant sur les objets ponctuels que sur les objets surfaciques, le calcul est lancé sur des buffers de 20m générés autour de tous les points sélectionnés.

Le Tableau 4 donne une liste de tous les indices calculés sur les données issues de l'Etat-Major.

	Etat-Major	Topo
Nombre de routes	- classe : voie - nature = 1	- classe : routes - importance = 1, 2, 3, 4
Nombre de routes afférentes	- classe : voie - nature = 1	- classe : routes - importance = 1, 2, 3, 4
Nombre de voies ferrées	- classe : voie ferrée - nature = 1	- classe : tronçon voie ferrée - nature = LGV, Principale
Nombre de voies ferrées afférentes	- classe : voie ferrée - nature = 1	- classe : tronçon voie ferrée - nature = LGV, Principale
Nombre de gares	- classe : desserte ferroviaire - nature = tout	- classe : bâti remarquable - nature = Gare
Nombre de bâtiments industriels	- classe : industrie /nature = 1, 2, 3, 4, 5, 7 - classe : production énergie / nature = 1	- classes : PAI industriel commercial - nature = ZI, usines
Nombre de bâtiments religieux	- classe : bati religieux - nature = tout sauf 3, 5, 6	- classe : bâti remarquable - nature = Bâtiment religieux divers, Chapelle, Eglise
Nombre d'églises	- classe : religieux - nature = 1, 7	- classe : bâti remarquable - nature = Eglise
Nombre d'habitats dispersé	- classe : bati indifférencié et bati civil (nature = 1, 2, 3) en dehors des enveloppes urbaines générées sous Arcgis	- classe : bati indifférencié en dehors des enveloppes urbaines générées sous ArcGIS
Surface urbaine	- surface des enveloppes créées sous Arcgis qui contiennent plus de 2 bâtiments - surface de la classe commune	- surface des enveloppes créées sous ArcGIS qui contiennent plus de 4 bâtiments
Nombre de ponts	- classe : franchissement - nature = 1, 2, 3, 6	- classe : construction linéaire / nature = pont - classe : construction surfacique / nature = pont, Ecluse
Nombre de bâtiments militaires	- classe : militaire linaire / nature = 1, 2 - classe : militaire ponctuel / nature tout sauf 4 - classe : militaire surfacique / nature = tout	- classe : pai administratif militaire / nature = enceinte militaire, gendarmerie, ouvrage militaire ; nature - classe : bâti remarquable / nature = Fort, Blockhaus, Casemate
Nombre de postes	- classe : cassini_non_religieux - nature = relais de poste (10)	- classe : pai administratif militaire - nature = Bureau ou hotel de poste
Kilomètre de cours d'eau artificiels	- classe : hydrographie linéaire - nature = 3	- classe : troncon hydro - artif (booléen) = true
Densité de population	- Source : BD histoire, 1895	- Source : INSEE, 2006
Pente et Altitude moyenne	- classes : mnt_alt, mnt_pente / valeur moyenne	

Tableau 4. Liste des indices calculés sur l'Etat-Major et leur équivalent BDTopo.

3. Analyse conjointe de Cassini et la BDTopo

Quinze indices ont été construits pour l'étude statistique :

- La densité de population
- La surface de tissu urbain
- Le nombre d'habitat dispersé
- Le nombre de kilomètre de routes
- Le nombre de routes afférentes
- Le nombre de kilomètre de cours d'eau artificiels
- Le nombre de ponts
- Le nombre de bâtiments industriels
- Le nombre de constructions militaires
- Le nombre de postes
- Le nombre bâtiments religieux de toutes sortes
- Le nombre d'églises
- Le statut de chef-lieu de canton, d'arrondissement ou de département
- Le nombre de kilomètres de cours d'eau naturels
- L'altitude moyenne
- La pente moyenne

Les trois derniers indices sont statiques, ils ne sont pas utilisés dans l'étude des transitions. Tous les indices sont quantitatifs, sauf l'indice « statut de chef-lieu » qui est qualitatif (modalités =0, 1, 2 ou 3 selon le type de chef-lieu).

Les indices qualifient surtout des caractères plus ou moins urbains (postes, routes, tissus urbain, bâtiments industriels, etc.), tandis que les aspects ruraux des territoires ne sont pas représentés, surtout en terme d'activité agricole. Il n'y a pas d'indice exprimant, la surface cultivée, la surface moyenne de parcelle ou le nombre d'exploitations. Nous nous attendons donc à ce que les territoires soit caractérisés par l'analyse avant tout par le fait urbain – les espaces ruraux, eux, seront décrits en fonction de l'activité industrielle ou en pendant négatif aux espaces urbains (pas d'habitat groupé, peu de services, etc.).

Les essais et analyses préliminaires nous ont montré que lorsqu'on étudie les données pour les trois zones en même temps les spécificités des régions sont diluées dans un classement trop général des communes. Par exemple Grenoble a des caractères urbains très prononcés, et de ce fait des communes urbaines importantes pour leur zone, comme Epernay, Reims ou Avranches, mais qui ne sont pas des centres aussi grands que Grenoble, voient leur poids réduit. Or, dans cette partie de l'étude, il ne s'agit pas de comparer les régions entre elles, mais les transitions que vivent les communes. L'étude statistique est donc menée sur chaque zone séparément, mais avec la même méthodologie.

3.1. Analyse du changement

3.1.1. Etude de la distribution des indices pour t_1 et t_2

Les indices sont d'abord étudiés un à un afin de vérifier si leur distribution à t_1 et t_2 est comparable. Cette étape est réalisée sous le logiciel de statistiques R, à partir de la table des indices exportée en format CSV. De plus des statistiques de base (étendue, moyenne, écart-type...) sont calculés sous OpenOffice Calc.

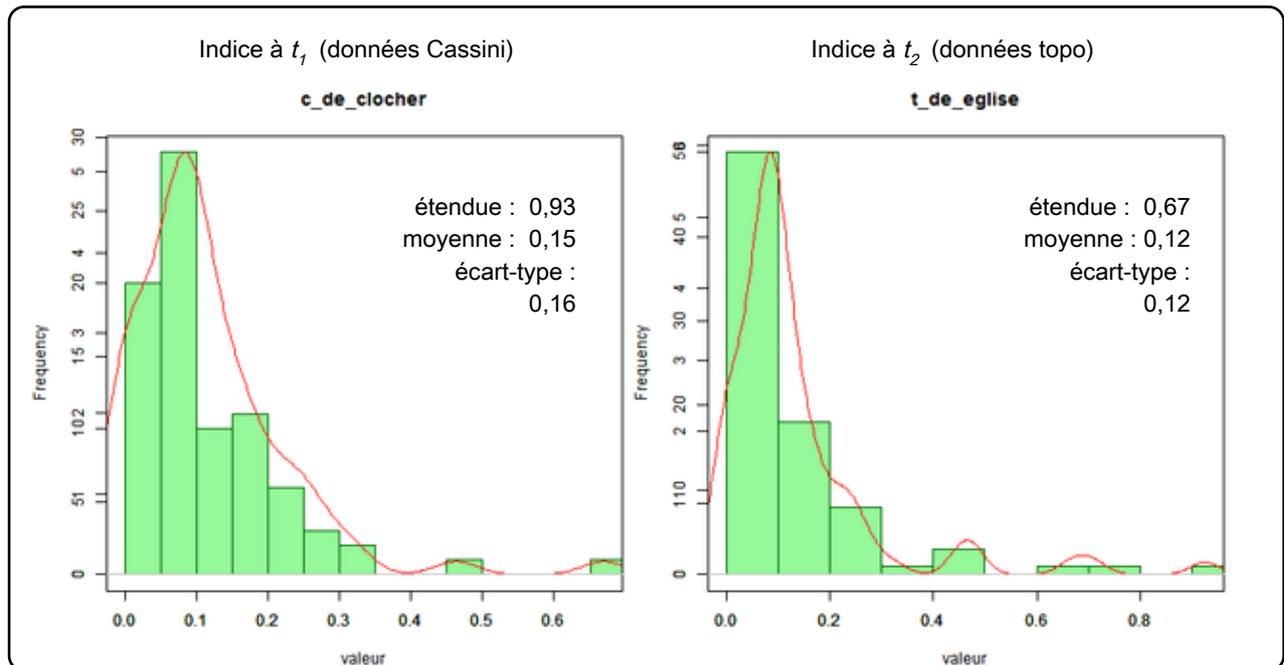


Figure 27 : Distribution des valeurs de l'indice « église » pour la zone de Reims à t_1 et t_2 .

Dans l'ensemble, les indices ont une distribution comparable. Ils sont pour la plupart dissymétriques à droite : beaucoup de valeurs faibles voire nulles, peu de valeurs fortes. Certaines distributions sont légèrement multimodales, avec un fort caractère asymétrique à droite. La Figure 27 montre un exemple de ces distributions.

Par ailleurs pour tous les indices, les distributions à t_2 sont plus étendues qu'à t_1 . Le maximum des valeurs est systématiquement plus grand pour les indices issus des données topo que pour ceux issus des données Cassini. Les valeurs à t_2 sont également plus dispersées autour de la moyenne que celles à t_1 : les communes caractérisées par les indices propres au XVIIIe siècle sont plus homogènes que celles décrites par les indices du XXIe siècle. Ce sont des biais à prendre en compte pour l'interprétation des résultats.

3.1.2. Première analyse : ACP et CAH

La plupart des indices sont de nature quantitative : nous choisissons donc de mener d'abord une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour laquelle l'indice qualitatif « chef-lieu » est exclu. Tous les indices sont pris sous leur forme normalisée : ce sont des taux.

Pour commencer, une matrice de corrélation de Pearson est construite afin d'éliminer les indices trop corrélés (ils introduiraient une redondance inutile dans l'analyse). Dans les trois zones, les indices « églises » et « bâtiments religieux » d'une part (sauf pour la zone de Saint-Malo), et « kilomètres de route » et « nombre de routes afférentes » d'autre part sont très corrélés, comme le montre la Table 3.

	Corrélation « églises » / « bâtiments religieux »	Corrélation « km de routes » / « routes afférentes »
Zone Grenoble	0,837	0,816
Zone Saint-Malo	0,577	0,794
Zone Reims	0,917	0,895

Table 3: Corrélations de deux paires de variables.

Cette corrélation n'est pas étonnante dans la mesure où ces indices sont construits sur le même type d'objet, l'indice « église » est même une sous partie de l'indice « bâtiments religieux ». La corrélation entre les indices « kilomètres de routes » et « nombre de routes afférentes » s'explique aussi par la nature des routes sélectionnées pour le calcul (seulement les routes importantes), qui sont par ailleurs peu nombreuses. Le réseau interne aux communes étant très peu représenté, le nombre de routes afférentes et le nombre de routes sont assez proches. Les corrélations de ces quatre variables avec les autres indices sont par ailleurs peu élevées : les indices éliminés sont ceux qui ont les corrélations les plus faibles afin que l'analyse garde son sens, c'est-à-dire les indices « bâtiments religieux » et routes « afférentes ».

L'ACP est lancée sous R : il s'agit d'une ACP sur matrice de corrélation de Pearson, calculée sur les données centrées-réduites (les variables ne sont pas dans la même unité). La CAH est également réalisée sous ce logiciel, avec une métrique euclidienne et selon le critère d'agrégation de Ward. D'autres critères ont été testés mais les résultats n'étaient pas concluants.

Pour chaque zone, l'ACP permet de représenter la structure du territoire à l'échelle des communes en produisant plusieurs axes (ou plans) factoriels. Les variables sont positionnées sur les axes en fonction de leur corrélation avec ceux-ci. L'analyse conjointe de la position des variables sur l'axe, de la contribution de chaque variable à la construction de l'axe, et de la représentation des variables sur les différents axes, permet d'interpréter thématiquement chaque dimension factorielle.

3.1.3. Résultats

3.1.3.1. Grenoble

Nous décrivons ici en détail les résultats pour la zone de Grenoble, en nous nous attardant sur les deux étapes de l'analyse statistique. Pour les deux autres zones nous présenterons simplement les caractéristiques de la classification finale.

Pour la zone de Grenoble, les trois premiers axes sont très significatifs puisqu'ils résument 71% de la variance (le premier plan, avec 47 % d'inertie est particulièrement prépondérant).

Sur le premier plan, toutes les variables ont des coordonnées positives, comme le montre la Figure 28, il s'agit donc d'un axe de gradient, mais celles qui sont le plus éloignées du centre du graphe sont les plus significatives.

Les communes de la zone de Grenoble se structurent d'abord selon un axe urbain : plus les communes sont situées en haut de l'axe 1, plus ce sont des espaces d'habitat urbain groupé, très fortement peuplés, avec beaucoup de services, et un peu d'activité industrielle. Ce sont également des espaces très accessibles.

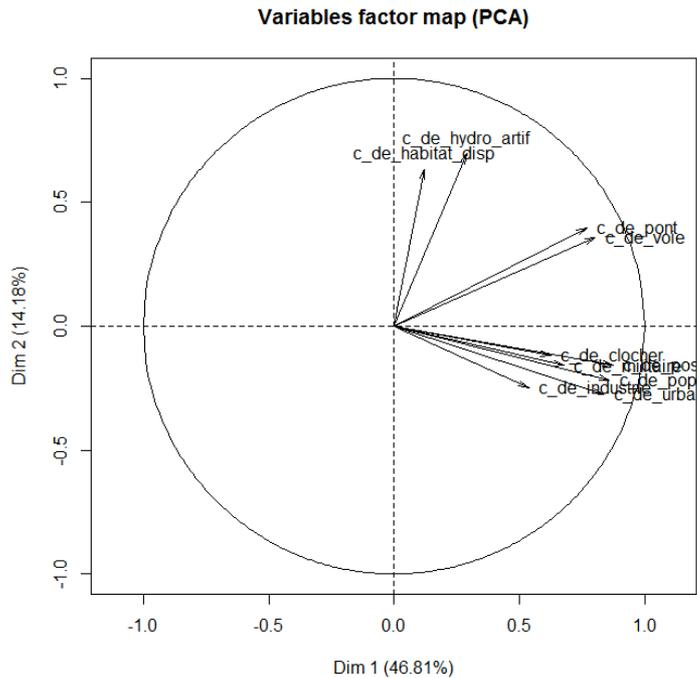


Figure 28 : Position des variables sur le plan (1,2) pour la zone de Grenoble.

L'axe 2, qui explique 14% de l'inertie du tableau de données, est également un axe de gradient : les variables de coordonnée négative contribuent très peu à la construction et cette dimension n'exprime pas beaucoup leur variance (entre 1 et 8% de variance expliquée). Il organise l'espace en fonction des communes avec un réseau routier et hydrographique important, où l'habitat dispersé est très présent.

Enfin, le troisième axe (10% de variance expliquée) oppose d'une part les espaces d'habitat dispersé avec une présence religieuse marquée aux espaces très d'industriels traversés par de nombreux cours d'eau artificiels.

Ainsi des caractéristiques propres à la région grenobloise émergent tout de suite : un centre urbain important, des vallées rurales et peu habitées, des espaces d'industrie profitant de l'hydrographie (scierie, hydro-électricité).

La CAH est réalisée sur ces trois premiers axes factoriels, nous retenons une partition en 4 classes. (Figure 29). Cette partition reproduit l'organisation du territoire exprimée par l'ACP. La Figure 30 illustre spatialement le résultat de cette classification pour les deux époques d'étude.

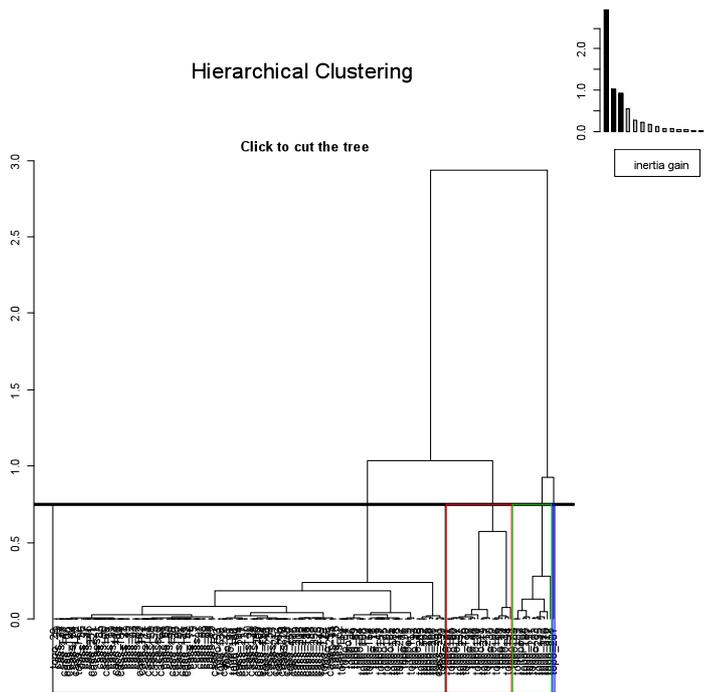


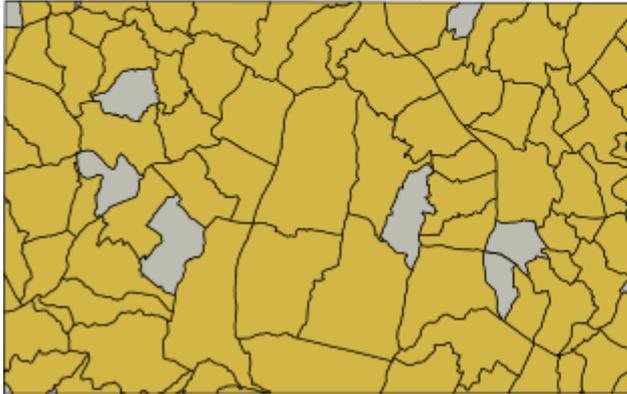
Figure 29 : Dendrogramme définissant la classification sur la zone de Grenoble.

A la fin du XVIII^e siècle, toutes les communes appartiennent à la même classe : le territoire est peu densément habité, de caractère plutôt rural, mais il est surtout uniforme. En prenant en considération les trois premiers axes de l'analyse, il n'y a pas de forte différenciation fonctionnelle des communes. Sur le premier axe de l'ACP, des communes telles que Grenoble ou La Tronche ressortaient avec un caractère plus urbain que les autres mais cette spécificité a été effacée sous l'influence des deux autres plans factoriels.

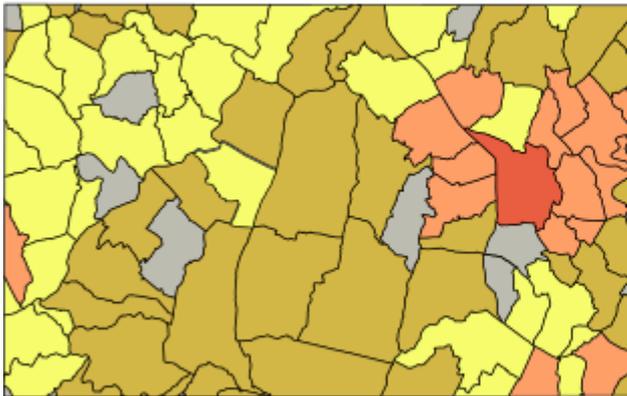
A l'inverse, en 2011, il existe une très forte polarisation de l'espace autour de la ville de Grenoble, véritable capitale régionale, et dans les vallées du Drac et de l'Isère. Ces espaces ont, au fil du temps, concentré la population et les services, laissant aux versants montagneux des massifs du Vercors, de la Chartreuse et à la chaîne de Belledonne les industries qui se développent autour de la houille blanche : scierie traditionnellement, puis chaudronnerie, aménagements hydrauliques divers. Des laboratoires sont créés pour améliorer cette industrie : l'exploitation hydroélectrique est à l'origine de l'essor de Grenoble en tant que pôle de recherche scientifique. Grenoble et son agglomération ont su tirer parti à la fois de l'environnement et de leur situation de carrefour pour devenir un pôle majeur de service, un véritable technopôle et un centre d'industrie majeur (électronique, informatique, pétrochimie...), dominant la région du sillon alpin.

Evolution de l'organisation du territoire des communes dans la région de Grenoble du XVIIIe au XXIe siècle

fin du XVIIIe siècle



début du XXIe siècle



L. Nahassia, 2012 - Source : projet GéoPeuple

0 10 20 km

Légende : la structure de l'espace

- Espaces peu peuplés, industrie ponctuelle utilisant l'énergie hydraulique
- Espaces d'habitat dispersés des vallées, accessibles, sous influence urbaine faible
- Couronne péri-urbaine à forte densité de population en habitat groupé, accessible
- Centre urbain polarisant la région, à très forte densité de population en habitat groupé, accessible, groupant services et activités
- Communes non incluses dans l'analyse

Croquis de situation

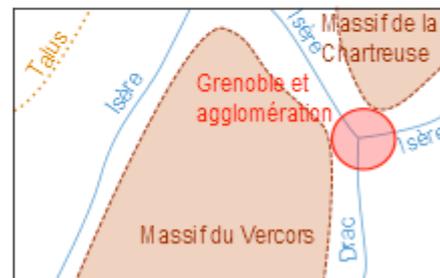


Figure 30 : Carte de la classification du changement depuis le XVIe siècle de la zone de Grenoble.

Pour ces classes, nous vérifié si les profils qu'elles définissaient semblaient conformes à la réalité, en observant le terrain, à travers les cartes de Cassini et les photos satellites actuelles. Ce contrôle visuel a été effectué avec Presles et Eybens, deux communes caractéristiques. La première était une commune rurale (en montagne, sur le Vercors, Figure 33) et le reste aujourd'hui, comme le montre la Figure 31. La seconde était une commune rurale (en plaine, voisine de Grenoble) mais a changé de classe pour devenir une commune de la classe péri-urbaine, avec un réseau routier très dense, et une zone de bati continue sur toute sa surface, exceptée la partie surelevée de la coline en bas à droite, comme le montre la Figure 32.



Figure 31. Presles : de Cassini à aujourd’hui.

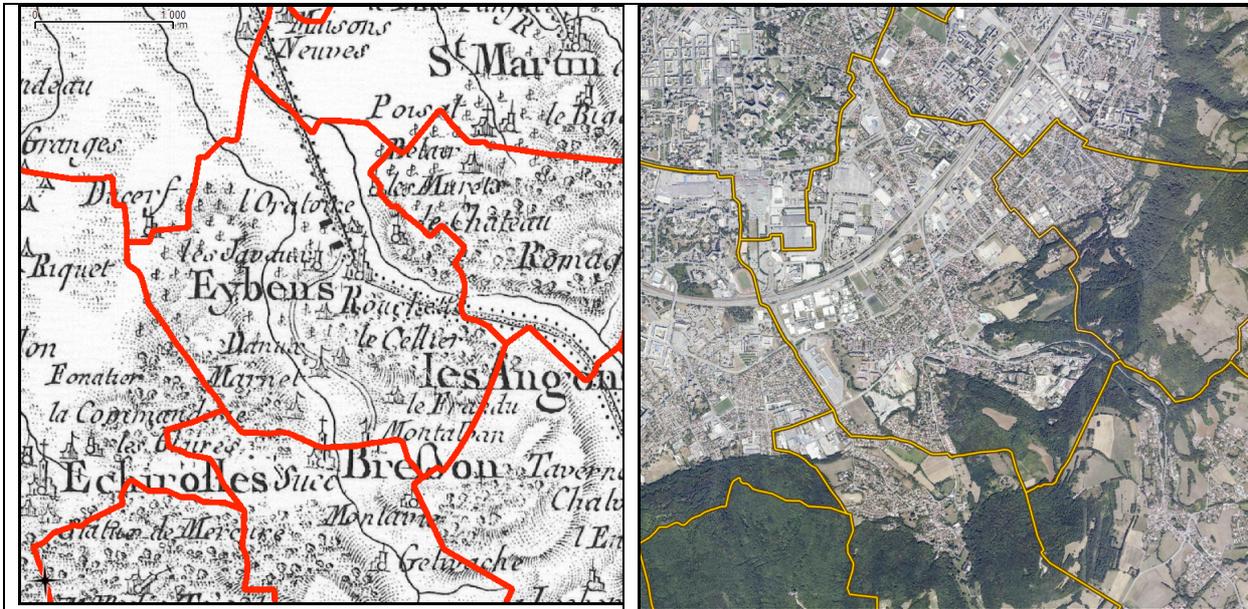


Figure 32. Eybens : de Cassini à aujourd’hui.

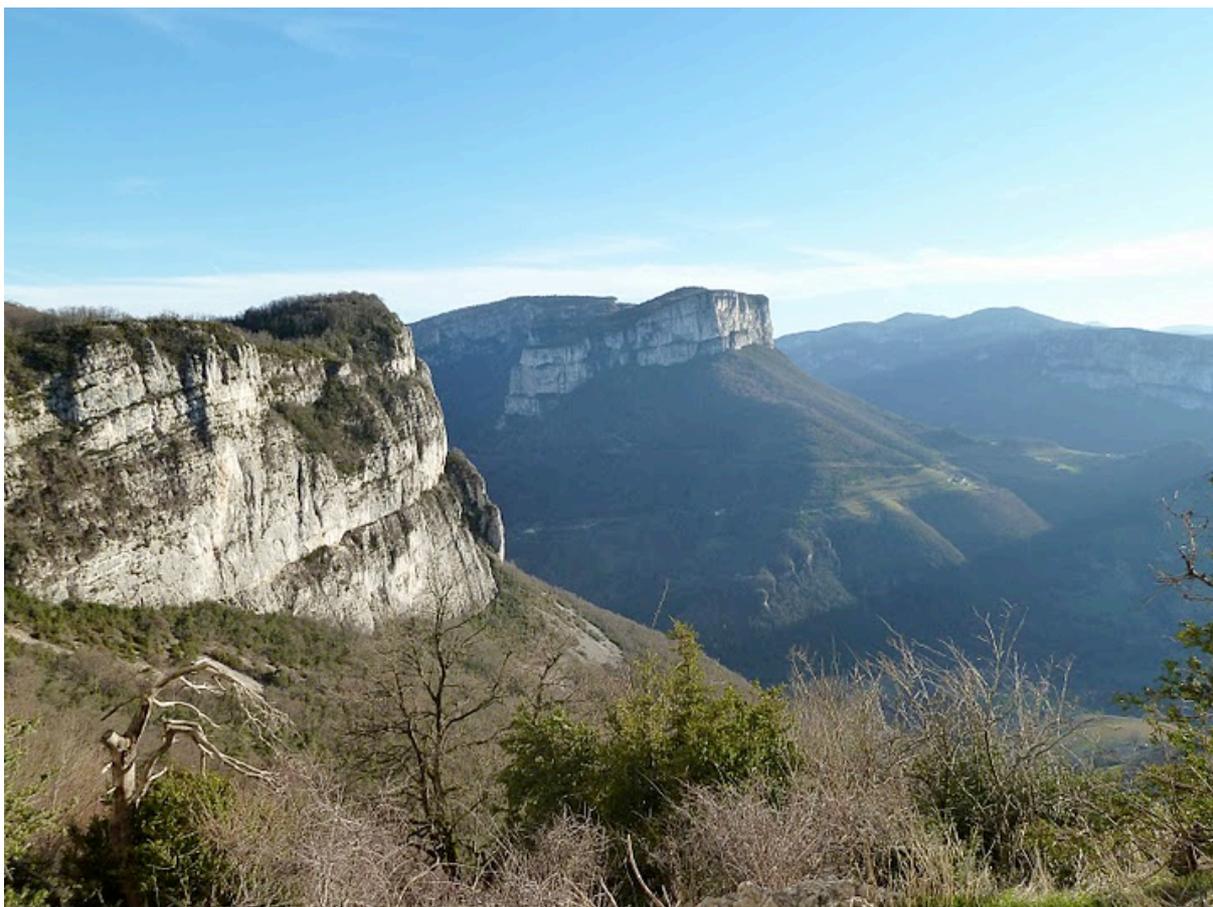


Figure 33. Vue des falaises de Presles dans le Vercors – Photo prise en Février 2011.

3.1.3.2. La baie du Mont Saint-Michel

Pour la zone de Saint-Malo, une répartition en quatre classes est retenue pour une CAH calculée sur les quatre premiers axes de l'AFC (qui résument 69% de l'inertie du tableau de donnée, dont 29% de variance expliquée par le premier axe) - Figure 34.

Cette classification structure la zone en quatre types d'organisation de l'espace :

- La première classe regroupe les espaces d'habitat exclusivement dispersés, peu densément peuplés, où le réseau hydrographique artificiel est important : ce sont les espaces ruraux d'habitat dispersés qui constitue le paysage mité de cette région, maillés par les nombreux canaux de drainage de la baie du Mont Saint Michel ;
- La deuxième classe regroupe les espaces d'habitat concentrés mais peu densément peuplés, dotés de services : il s'agit des communes occupées principalement par des petites villes, des bourgs et des hameaux, forme ancienne de l'habitat en nombreux écarts typique de la Bretagne ;
- La troisième classe regroupe les espaces bien accessibles, lieux d'activités industrielles et de services (tant religieux que civils), plus peuplés que la moyenne et sur lesquels l'habitat est à la fois dispersé et groupé : ce sont des communes urbaines ;
- La quatrième classe regroupe des espaces très densément peuplés, d'habitat uniquement groupé et urbain, avec beaucoup de services et très accessibles : il s'agit de la ville importante de la zone, Avranches.

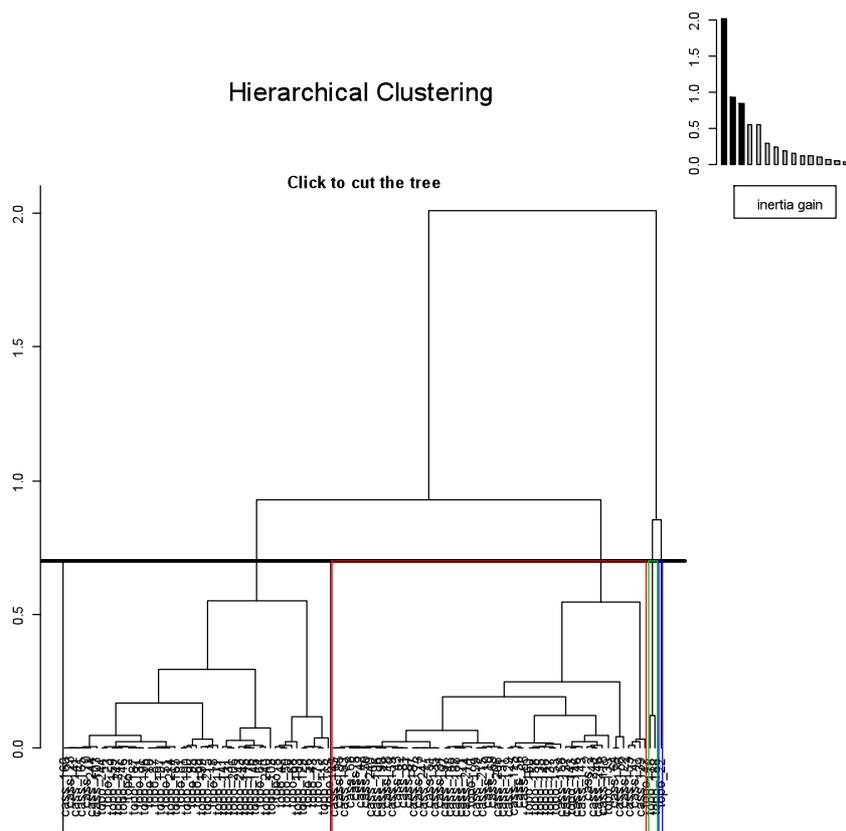


Figure 34 : Dendrogramme définissant la classification du changement de la zone de Saint-Malo.

L'emprise de cette zone ne couvre pas les communes urbaines - deux ports - qui polarisent la zone en même temps qu'Avranches : Saint-Malo à l'ouest tout juste à la limite de la zone, Granville au nord-est. Néanmoins des évolutions très claires peuvent y être lues.

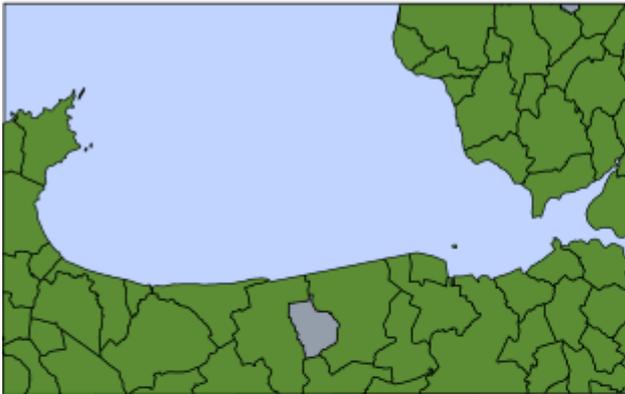
La Figure 35 montre que toutes les communes de la zone, au XVIII^e siècle, appartiennent à la deuxième classe de la CAH. Ce sont des espaces faiblement peuplés, où l'habitat est groupé en petites unités (villages, bourgs, hameaux). Les communes sont alors peu différenciées, à l'instar de celles de l'espace Grenoblois.

Au XXI^e siècle, une grande majorité des communes s'est « vidée », que ce soit sur la côte poldérisée ou dans l'arrière-pays du sud Cotentin : dépeuplées, elles sont des espaces ruraux (élevage des moutons de pré salé, maraîchage...), caractérisés par un habitat dispersé en unités isolées. Ce sont ensuite les unités de plus en plus urbaines et de plus en plus densément peuplées qui se détachent. D'abord les communes de moyenne ampleur, Cancale, Carolles, Champeaux sur la côte, qui vivent avant tout du tourisme, de l'ostréiculture et de la myciculture localisées dans la baie.

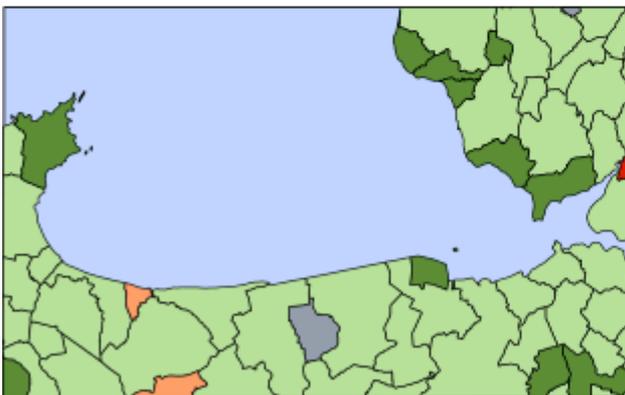
Se détachent ensuite Le-Vivier-Sur-Mer et Dol-De-Bretagne, plus densément peuplées que les précédentes. Dol, ancien centre rural, est aujourd'hui un important marché agricole. Vient enfin Avranches, ville la plus importante de la zone dont seulement une petite partie du territoire est incluse dans l'étude. La ville est un centre de services (notamment scolaire) et un relais touristique vis-à-vis de la visite du Mont Saint-Michel.

Evolution de l'organisation du territoire des communes dans la baie du Mont-Saint-Michel du XVIIIe au XXIe siècle

fin du XVIIIe siècle



début du XXIe siècle



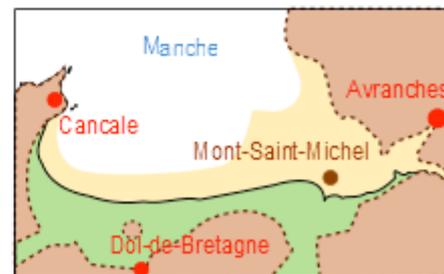
L. Nahassia, 2012 - Source : projet GéoPeuple

0 10 20 km

Légende : la structure de l'espace

- Espaces ruraux d'habitat très dispersé, peu densément peuplés, peu dynamiques
- Espaces d'habitat dispersés en hameaux et bourgs, peu densément peuplés
- Espaces peuplés, d'habitat dispersé et concentré, centres de services intermédiaires et d'industrie
- Commune d'habitat urbain, à forte densité de population, centre important de service
- Communes non incluses dans l'analyse

Croquis de situation



- Massifs granitiques
- Plaines et Polders
- Estran (sillke et s'chorre)

Figure 35 : Carte de la classification du changement depuis le XVIe siècle de la zone de Saint-Malo

3.1.3.1. La champagne Rémoise

Pour la zone de Reims, une répartition en trois classes est retenue pour une CAH calculée sur les trois premiers axes de l'AFC (qui résument 70% de l'inertie du tableau de donnée, dont 46% de variance expliquée par le premier axe), Figure 36.

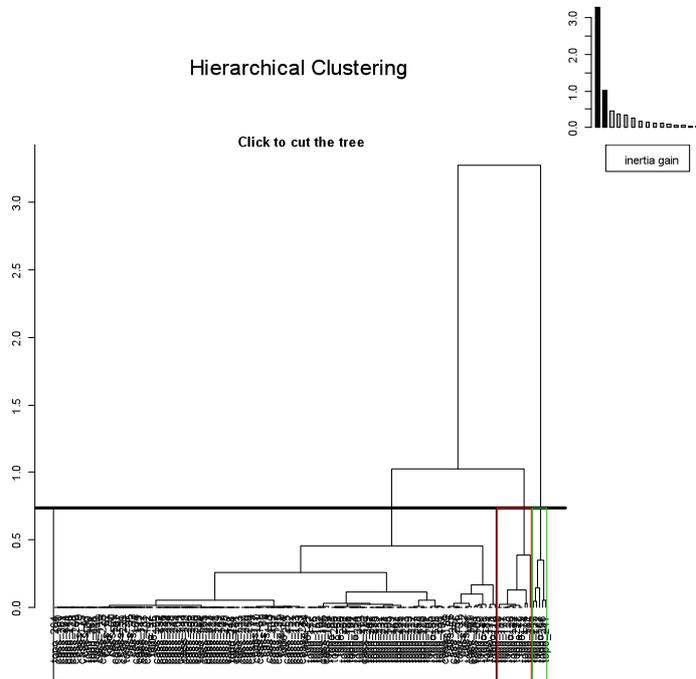


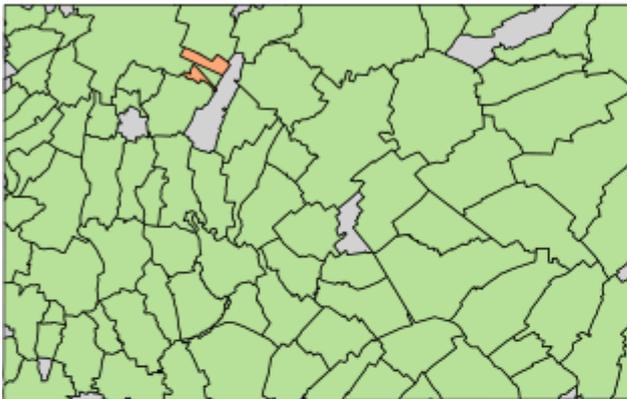
Figure 36 : Dendrogramme définissant la classification du changement de la zone de Reims.

Cette classification structure la zone en un gradient allant des communes rurales aux communes urbaines :

- La première classe regroupe les espaces peu densément peuplés quel que soit le type d'habitat, avec peu d'activités industrielles et de services : ce sont les espaces ruraux agricoles ;
- La deuxième classe regroupe des espaces bien desservis par le réseau routier, avec des services, caractérisés par un fort habitat dispersé et ponctuellement par de l'habitat concentré, et par la présence de cours d'eau artificiels : il s'agit des communes rurales périurbaines, situées sur les cours d'eau locaux, la Marne, la Sèvre et le Canal de la Marne à l'Aisne ;
- La troisième classe regroupe les espaces densément peuplés en habitat groupé, avec une forte activité industrielle, des services religieux et civils, accessibles : ce sont les communes urbaines.

Evolution de l'organisation du territoire des communes dans la région de Reims du XVIIIe au XXIe siècle

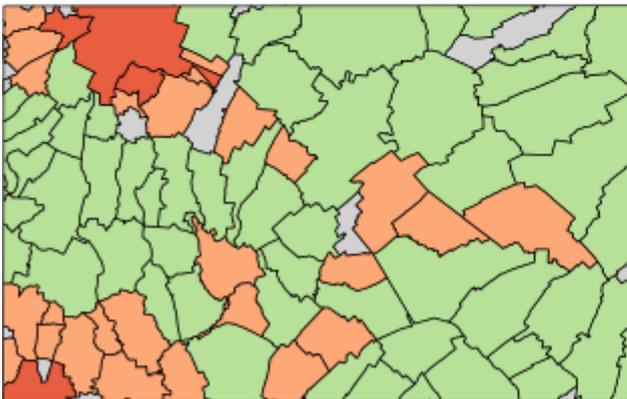
fin du XVIIIe siècle



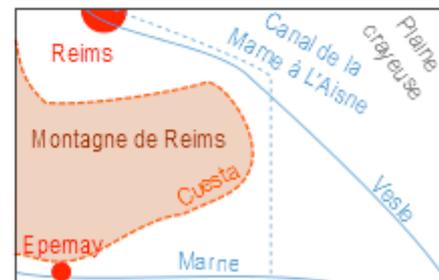
Légende : la structure de l'espace

- Espaces peu densément peuplés de la plaine agricole
- Espaces ruraux des cours d'eau et du bas de la cuesta, d'habitat dispersé et de gros bourgs actifs
- Centres urbains de services et d'activité : population dense et forte activité industrielle en périphérie
- Communes non incluses dans l'analyse

début du XXIe siècle



Croquis de situation



L. Nahassia, 2012 - Source : projet GéoPeuple

Figure 37 : Carte de la classification du changement depuis le XVIe siècle de la zone de Reims.

Ici encore, comme le montre la Figure 37, l'espace est très uniforme au XVIIIe siècle. La région rémoise est alors un espace rural : vignoble du Champagne sur les côtes de la Montagne de Reims (une cuesta : la Côte d'Île-de-France), activité pastorale dans la grande plaine crayeuse, dont le surnom de « Champagne Pouilleuse » marque alors la pauvreté. La commune de Saint-Léonard ressort car c'est la seule appartenant à la deuxième classe : cette très petite commune est traversée dans toute sa longueur par le canal, une caractéristique importante pour cette classe.

Au XXI^e siècle l'espace s'est structuré. On retrouve une grande partie des communes agricoles : le vignoble est toujours présent à l'est, à l'ouest la Champagne Pouilleuse est devenue l'une des plus grandes régions agricole de France. En effet, l'alliance du substrat crayeux et des engrais a transformé ces plaines en riches espaces de production céréalière. La population s'est concentrée dans les communes jouxtant la Sèvre, la Marne et le canal reliant cette dernière à l'Aisne, et au pied de la « Montagne de Reims », des espaces d'habitat mais aussi d'industrie agro-alimentaire ou métallurgique. Enfin, les grandes villes ressortent : Reims et ses communes limitrophes, d'abord, capitale économique régionale. Centre de services, dont l'industrie lainière, prospère au XIX^e siècle, Reims s'est reconvertie à la fin du XX^e siècle dans l'accueil d'industries décentralisées depuis Paris, dans la pharmaceutique, les produits phytosanitaires, la métallurgie. Epernay, au sud de la Montagne, a un profil similaire. Aujourd'hui, ces communes profitent aussi et surtout de toute l'industrie découlant de la production de Champagne : verrerie, bouchonnerie, cartonnerie, et de l'industrie-agro-alimentaire.

3.1.4. Interprétation des résultats

Les Tables 4, 5 et 6 présentent des matrices d'évolution pour chaque zone, résumée par le nombre d'individus dans chaque classe.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Classe 1	39	32	16	1

Table 4 : Matrice de transition en nombre d'individus par classe pour la zone de Grenoble.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Classe 2	16	45	2	1

Table 5 : Matrice de transition en nombre d'individus par classe pour la zone de Saint-Malo.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Classe 1	60	25	4
Classe 2		1	

Table 6 : Matrice de transition en nombre d'individus par classe pour la zone de Reims.

D'après cette analyse, sur les trois zones, l'espace évolue d'une manière similaire. A la fin du XVIII^e siècle, il est homogène tandis qu'au début du XXI^e siècle il est fortement différencié.

Ce changement peut s'interpréter de deux façons : une explication géographique et historique de l'évolution de l'occupation de l'espace du XVIII^e au XXI^e siècle, et une explication technique liée à la nature des données utilisées.

L'interprétation historique et géographique a déjà été évoquée dans l'analyse zone par zone des résultats : les communes françaises avaient, au XVIII^e siècle, des profils fonctionnels plus proches les uns des autres qu'aujourd'hui, où le territoire s'est spécialisé du fait de nombreux processus : révolutions industrielles, révolution agricole, exode rural, urbanisation.

Au XVIII^e siècle, la logique de marché national est presque inexistante en dehors de quelques denrées spécialisées (soie, verre...). Ainsi chaque territoire produit ce dont il a besoin pour fonctionner par lui-même : la profusion de moulins à vent sur les cartes de Cassini et leur répartition très régulière (comme l'étudie, par exemple, Madry pour la Bourgogne [Madry et al. 2011]) est le signe d'une activité agricole très localisée, chaque fermier portant à moudre personnellement son grain au moulin, faisant son propre pain, etc.

Chaque zone a évolué pendant deux siècles qui ont vu se réaliser d'importants changements politiques et techniques, et leur territoire s'est spécialisé relativement aux fonctions propres à chaque zone (industrie de montagne, agriculture...) et globalement du fait de l'urbanisation.

Cependant, il reste étonnant que les villes se détachent si peu au XVIIIe, surtout à Grenoble. Les résultats des classifications signifient que, dans l'ensemble, le profil urbain du XVIIIe siècle est plus proche du profil « rural » du XVIII et du profil « très peu peuplé » du XXIe siècle, que du profil des zones urbaines contemporaines. Ceci peut être justifié du point de vue de la densité de population : même les communes urbaines étaient alors très peu peuplées proportionnellement aux communes urbaines actuelles. Cependant, d'autres éléments, tels que la surface urbaine, aurait pu participer à faire ressortir les communes urbaines du XVIIIe siècle.

Ceci s'explique aussi peut-être par la nature de l'information. En effet, les données contenues sur les cartes de Cassini sont moins nombreuses que celles de la BD TOPO : beaucoup moins d'objets y sont représentés. Cela ne veut pas dire qu'il existait effectivement moins de bâtiments au XVIIIe siècle qu'aujourd'hui (dans une certaine mesure c'est le cas pour les villes), mais que le report des objets sur la carte est moins systématique. Par exemple, une ferme en écart sur la carte de Cassini est représentée par un simple point, même si elle est constituée de plusieurs bâtiments ; dans la BD TOPO chaque de ces bâtiments est figuré. Ce biais a pu être évité pour certains indices (notamment pour l'indice « industrie »), mais pas pour l'ensemble des variables. Il s'agit bien là d'une étude de la représentation du territoire et non de sa réalité.

Ce biais a une incidence forte sur les indices : ceux calculés à partir des données Cassini sont moins discriminants que ceux calculés à partir des données topo. En effet, comme cela a déjà été explicité au paragraphe 3.1.1, les indices Cassini ont une distribution moins étendue que les indices topo, mais comme ils sont étudiés et analysés de concert, les communes décrites par les indices Cassini apparaissent comme uniformes.

Tout est question de contexte : si on analyse les territoires époque par époque, les indices Cassini seront discriminants, et le territoire sera différencié. L'analyse rassemblant les indices des deux époques dilue cette faculté discriminante de l'information topographique issue des cartes de Cassini dans le pouvoir de différenciation beaucoup plus important des indices issus de la BD Topo.

3.2. Analyse de l'organisation spatiale sous Cassini (XVIIIeme)

Nous avons souhaité vérifier si l'organisation spatiale des communes sous Cassini était complètement homogène. Il fallait pour cela sortir de l'analyse tous les indices issus de la BDTopo, et il était possible d'intégrer les indices caractérisant la topographie naturelle (comme l'hydrologie, et le relief).

La méthode consiste à développer une ACP puis une CAH sur les communes observées à travers les indices Cassini. Les résultats montrent alors que le fait urbain est aussi présent au XVIIIeme siècle, et que le relief structure déjà beaucoup l'espace, mais pas de la même façon suivant les zones.

Sur Grenoble, la classification par CAH produit 3 classes différentes (Figure 38). On retrouve une commune très urbaine, Grenoble, et une classe rurale montagnarde sur les versants du Vercors et de la Chartreuse. En revanche, les classes péri-urbaines n'existent pas encore, et l'ensemble des communes non montagnardes semblent placées sur le même plan de développement.

Hierarchical Clustering

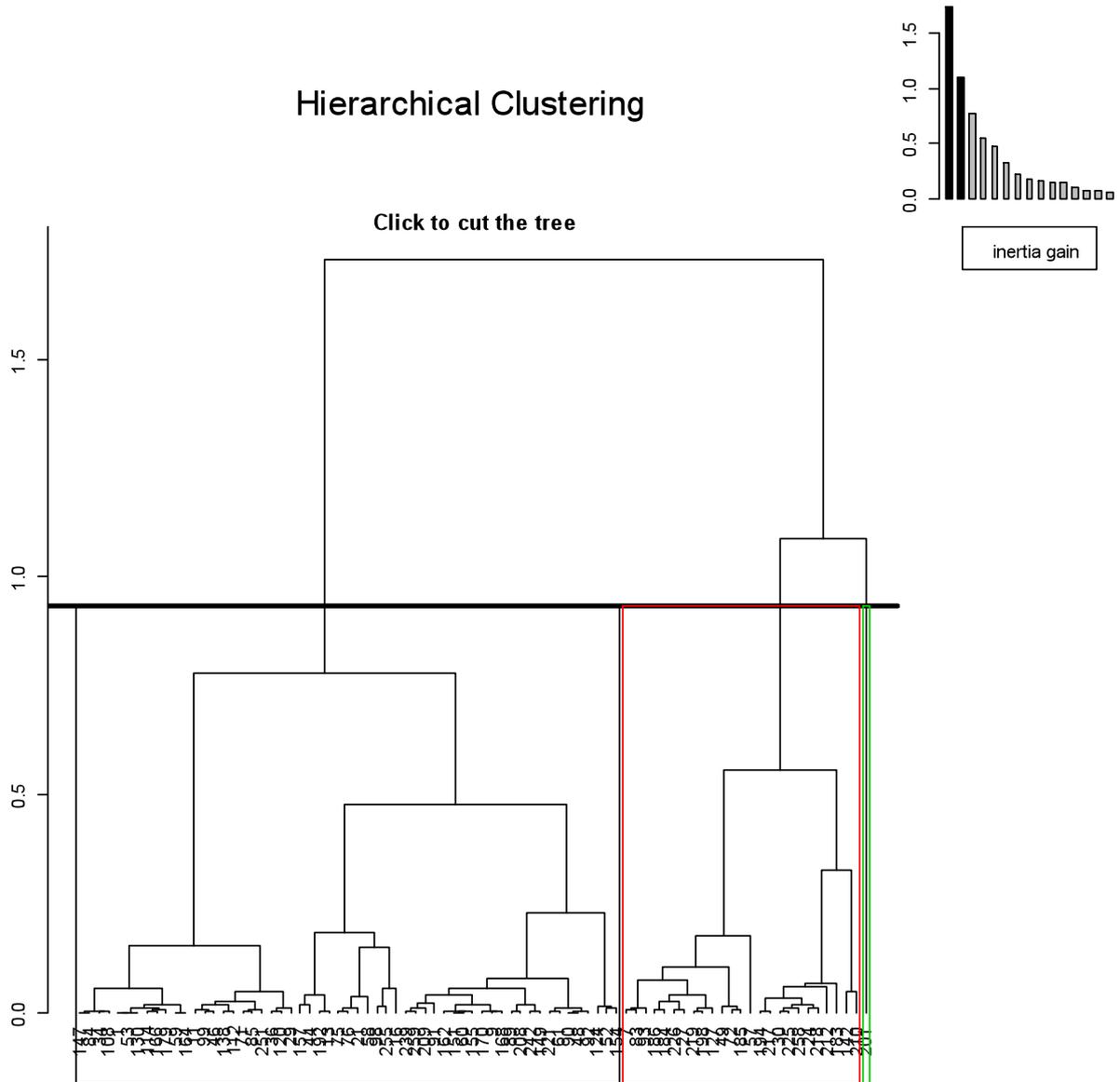
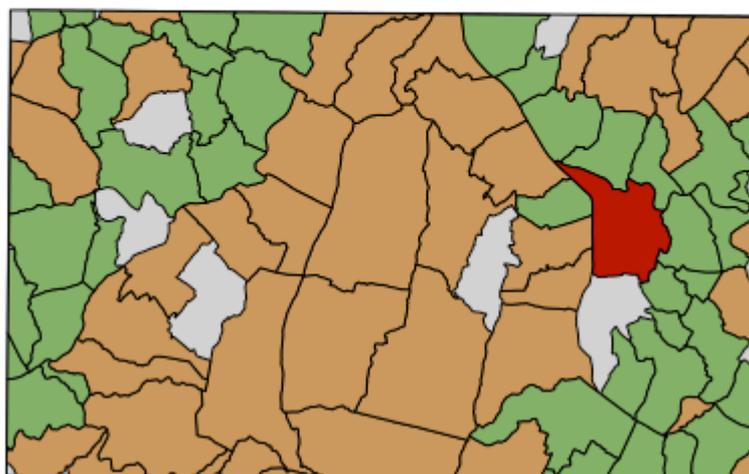


Figure 38 : Dendrogramme définissant la classification de la zone de Grenoble sur Cassini.

Organisation du territoire des communes dans la région de Grenoble à la fin du XVIIIe

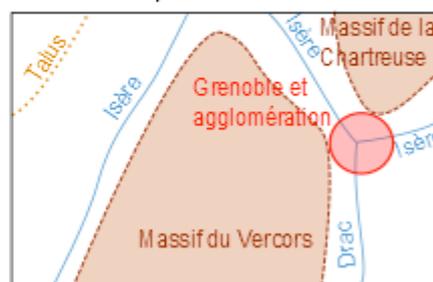


0 10 20 km ↑

Légende : la structure de l'espace

- Espaces d'altitude peu accessibles et peu peuplés
- Espaces en basse altitude d'habitat dispersé, marqué par l'empreinte religieuse
- Centre urbain très densément peuplé et très accessible, équipé militairement
- Communes non incluses dans l'analyse

Croquis de situation



L. Nahassia, 2012 - Source : projet GéoPeuple

Figure 39. Organisation spatiale de l'espace Grenoblois sous Cassini.

Sur Saint-Malo, la classification par CAH nous permet de définir cinq classes (Figure 40). Sur Saint-Malo (Figure 41), l'altitude haute joue un rôle positif dans l'urbanisation de l'espace. L'hydrographie joue un rôle particulier en permettant de distinguer fortement une commune comprenant beaucoup d'étang, et en créant une classe de communes occupées par des marais salants, peu peuplées. L'équipement militaire apparaît ici pour la première fois dans les analyses comme facteur discriminant.

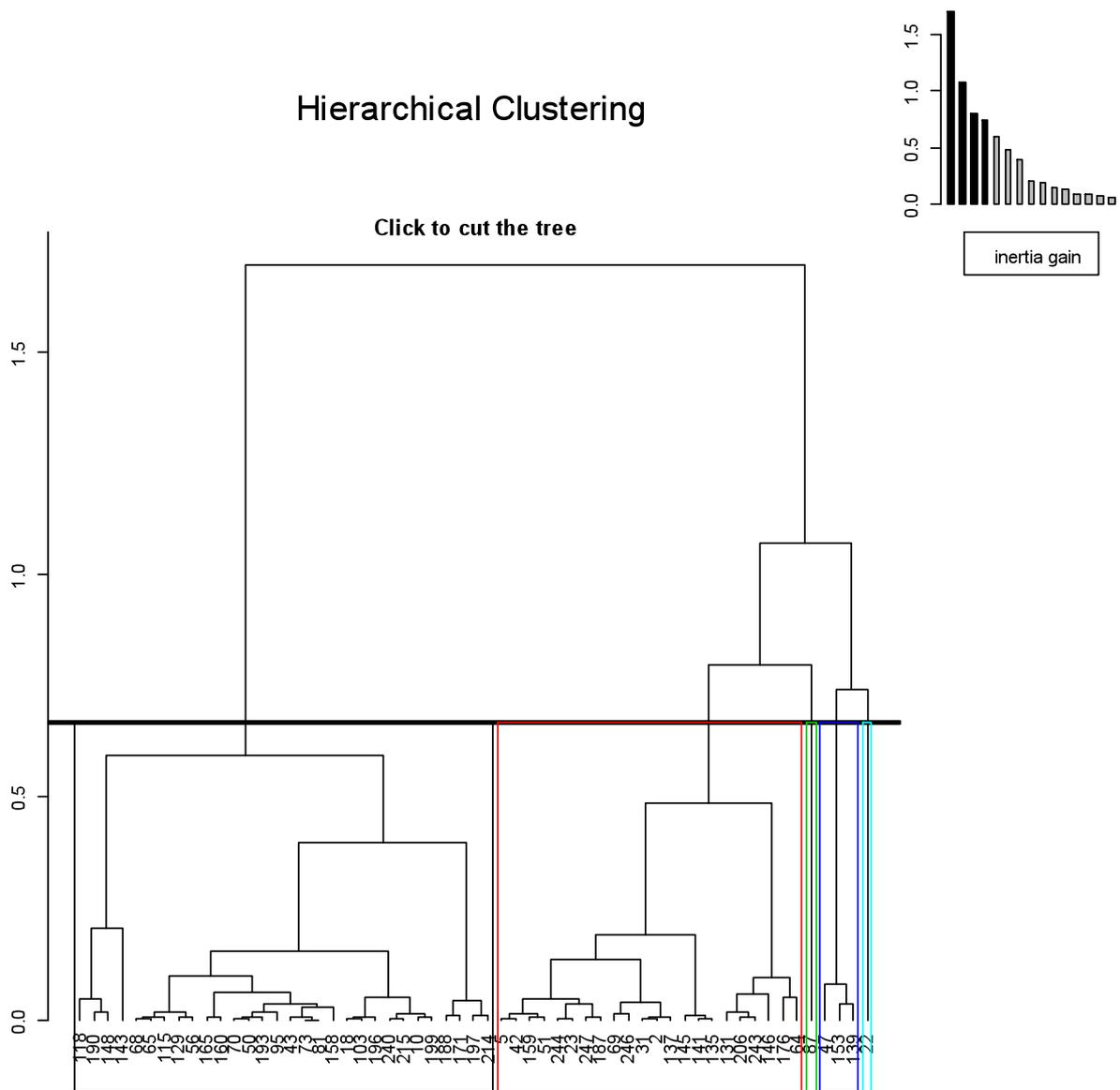


Figure 40 : Dendrogramme définissant la classification de la zone de Saint-Malo sur Cassini.

Organisation du territoire des communes dans la baie du Mont-Saint-Michel à la fin du XVIIIe

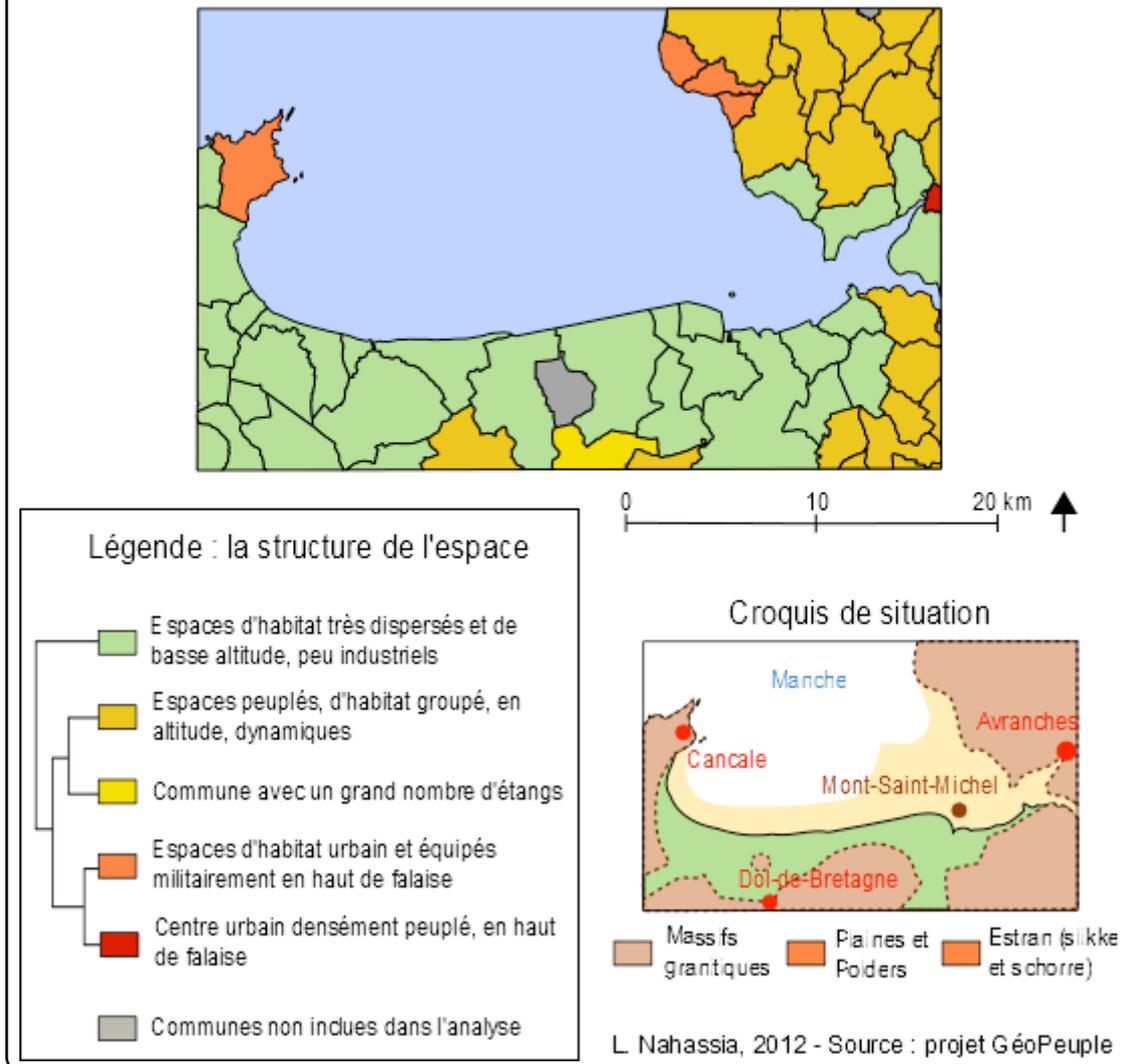


Figure 41. Organisation spatiale de l'espace de Saint-Malo sous Cassini.

La classification menée par CAH sur Reims aboutit à un nombre encore plus important de classes, révélant des différences d'organisation subtiles (Figure 42). Dans ce territoire assez plat, la différence de relief entre la cuesta et la plaine crayeuse joue tout de même encore un rôle, ainsi que l'hydrographie, dans la constitution de classes de communes. Peut-être également la nature des sols sur lesquels nous n'avons pas d'informations directes. De façon surprenante, les canaux et les rivières importantes comme la Marne et la Vesles ne semblent pas encore structurer le territoire à l'est (alors que sous l'Etat-Major, nous nous attendons à ce résultat, au vu de notre étude préliminaire des cartes). Enfin, si comme au XXIème siècle, les villes (de Reims et Epernay) jouent un rôle polarisant, c'est aussi les aspects religieux qui marquent ce territoire.

Hierarchical Clustering

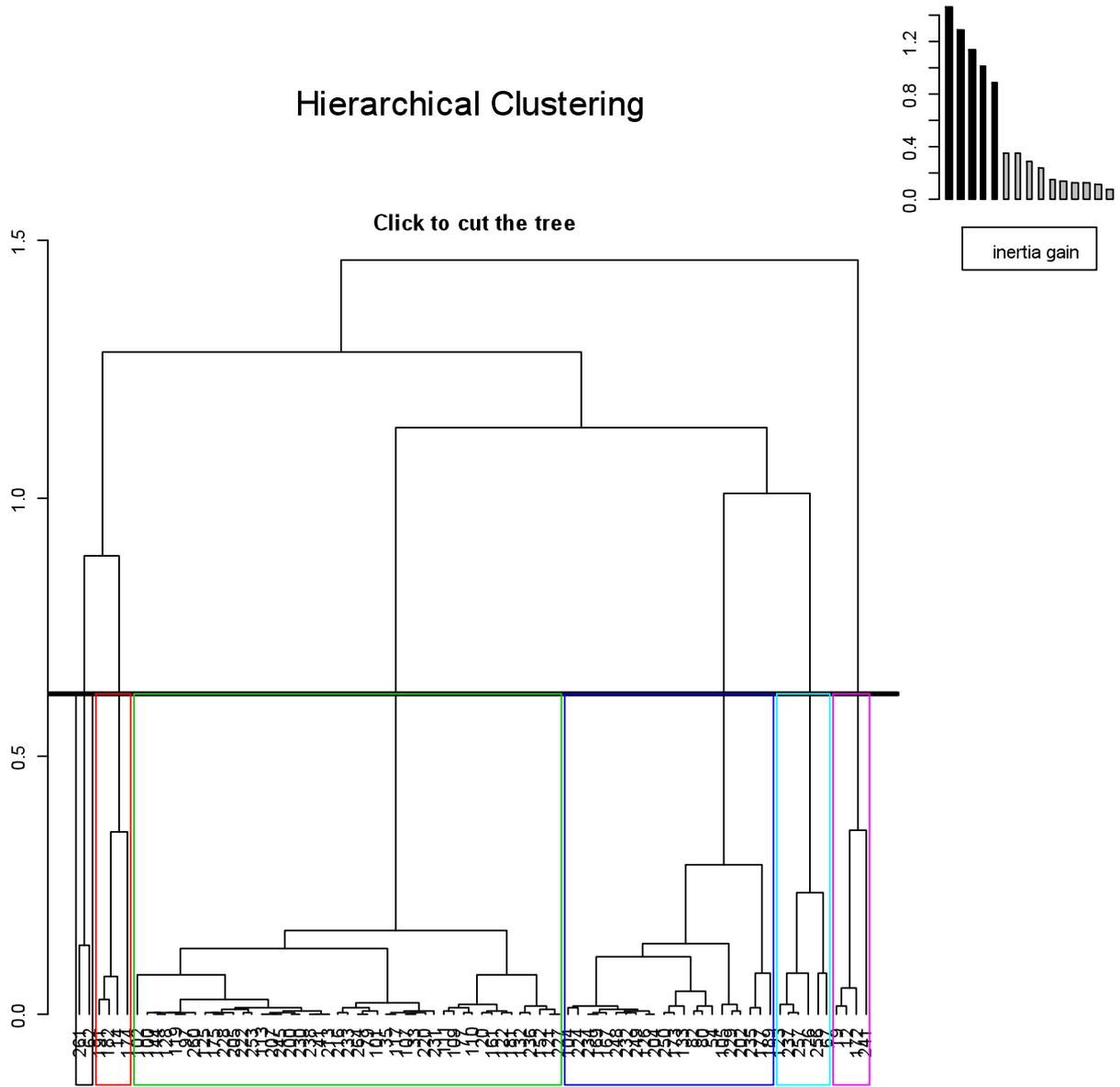


Figure 42 : Dendrogramme définissant la classification de la zone de Reims sur Cassini.

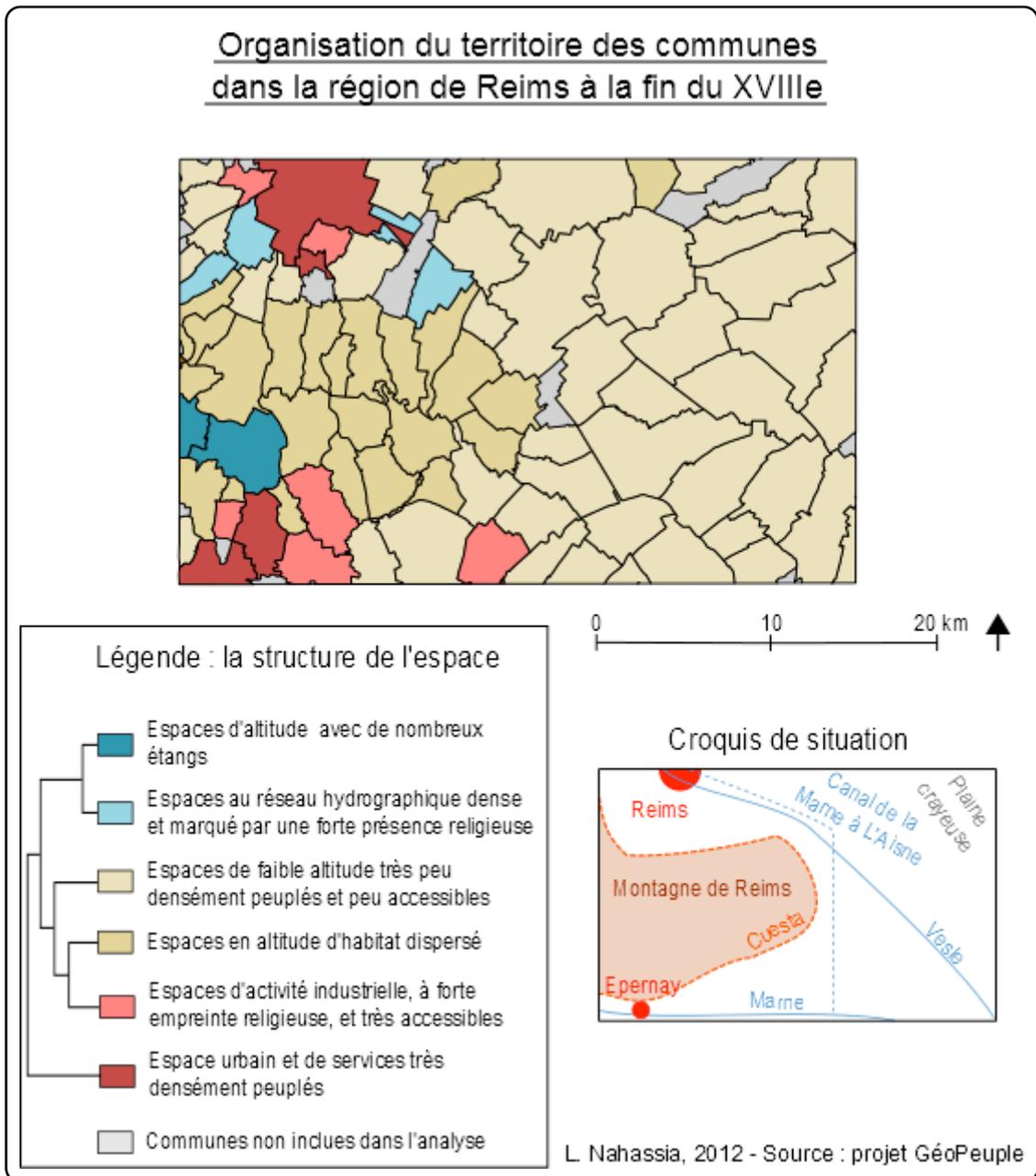


Figure 43. Organisation spatiale de l'espace de Reims sous Cassini.

3.3. Analyse des corrélations entre profil administratif et topographiques

Parmi nos 237 communes d'étude (y sont incluses les communes pour lesquelles nous n'avons pas la densité de population), seulement 60 communes sont concernées par des événements administratifs qui sont au nombre de 78. Cela représente très peu de données par commune : l'individu qui connaît le plus grand nombre de changements est Macey, en Basse-Normandie, dans la baie du Mont Saint-Michel. Cette commune a connu 4 changements, illustrés par la Figure 44, entre 1815 et 1979.

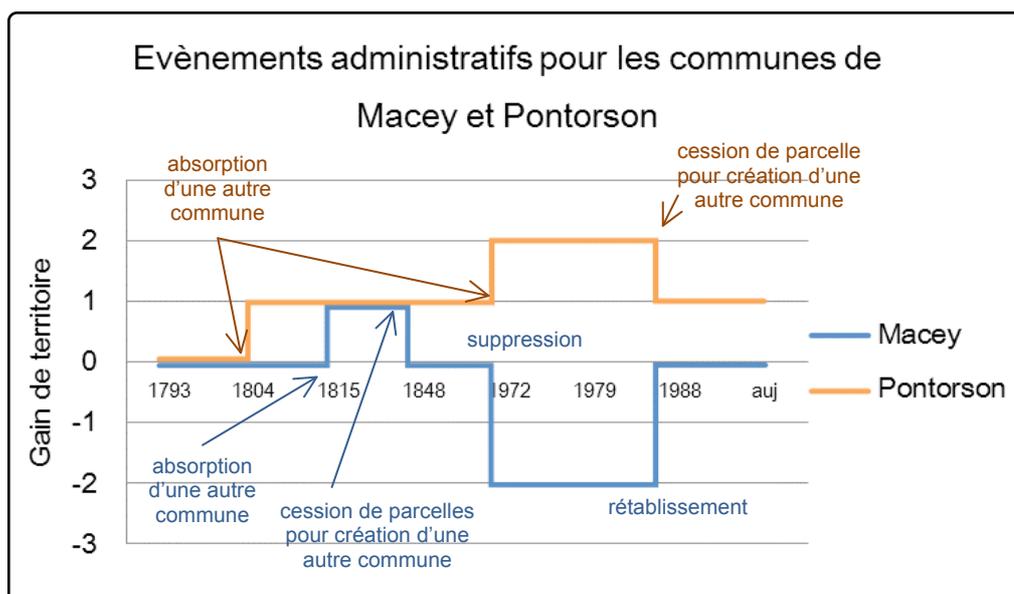


Figure 44 : Exemple d'événements administratifs de deux communes.

Deux individus ont connu 3 changements, onze en ont connu 2. Ces chiffres sont trop faibles pour établir, sur notre échantillon de commune, une analyse sur profil dans le temps des changements administratifs. Pour une telle étude, il faut plutôt envisager de travailler avec les données sur la France entière, ce qui exclue l'utilisation conjointe des données topographiques actuellement en notre possession.

Néanmoins, il est intéressant d'observer à titre informatif ces évolutions administratives pour nos zones. Comme il y a peu d'événements par commune, nous avons décidé d'attribuer à chaque individu la somme des valeurs attribués à tous ses événements.

Par exemple, pour Macey, la somme des valeurs des événements est de 0, pour Pontorson elle est de 1. Cette valeur n'exprime en rien le détail de l'évolution administrative des communes, mais elle permet d'avoir une idée de ce que ces changements signifient, aujourd'hui, pour l'individu : gain (valeur positive), perte (valeur négative) d'influence ou équilibre des événements (0). Ces valeurs manifestent une évolution globale des communes sur le plan administratif.

Peu de différences ressortent : les valeurs s'étalent entre -1 et +2. Pour donner une indication de la quantité de changement pour chaque commune, nous leur associons le nombre d'événements par entité. Pontorson avec un score final de +2 et 3 événements n'a pas la même évolution administrative que, par exemple, le Pont-de-Claix qui a le même score final (+2) mais en un seul événement. La Figure 45 illustre les changements administratifs pour toutes les communes.

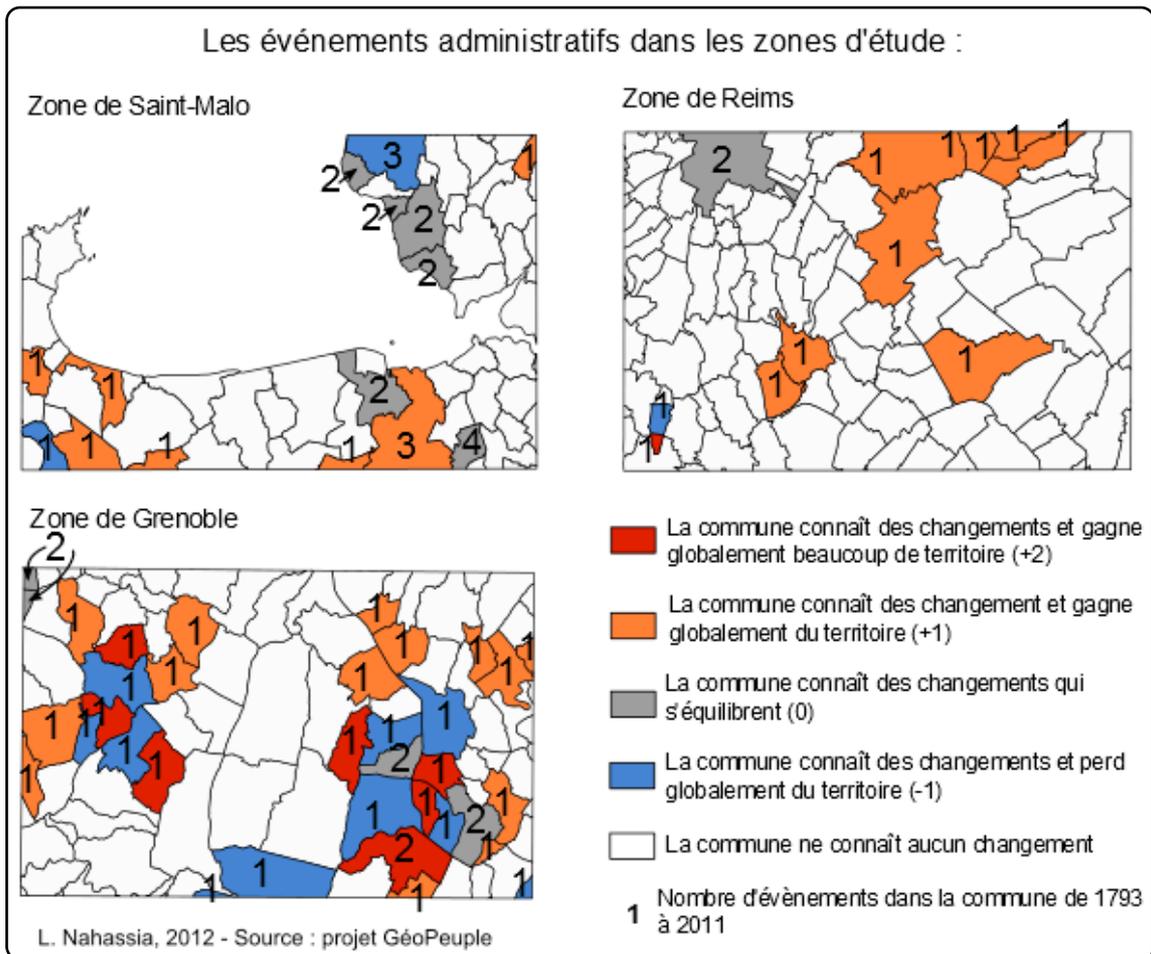


Figure 45 : Carte des évolutions administratives

La visualisation de la répartition de ces valeurs dans l'espace permet d'observer de manière plus directe certaines caractéristiques de l'histoire administrative des communes. Ainsi il est clair que les changements ont lieu dans des groupes des communes proches : ceci illustre le fait que les événements de redistribution territoriale ont forcément lieux entre communes voisines.

Cependant, il ne semble pas exister a priori de lien entre la distribution spatiale de ces modifications, et celles des profils calculés, des profils de changement, ou bien des profils établis à l'époque de Cassini. Pour vérifier, nous avons effectué un test du khi2 sur chaque type d'indice administratif, et chaque classe constituée, soit par l'étude du changement, soit établie par l'étude de l'organisation spatiale au temps de Cassini. Ces tests sont tous revenus négatifs.

Test du khi2 entre :	Classe de changement (& 3.1)	Classe sous Cassini (& 3.2)
Profil cumulé	Non corrélation	Non corrélation
Nombre de changement	Non corrélation	Non corrélation
Existence de changement	Non corrélation	Non corrélation

Tableau 5. Résultats des tests de khi2 des profils administratifs.

4. Analyse conjointe de l'Etat-Major et la BDTopo

De la même manière que pour l'analyse conjointe de Cassini et de la BDTopo, les zones ont été étudiées individuellement.

4.1. Analyse du changement

4.1.1. Etude de la distribution des indices pour t_1 et t_2

Les indices sont d'abord étudiés un à un afin de vérifier si leur distribution à t_1 et t_2 est comparable. Cette étape est réalisée sous le logiciel de statistiques R, à partir de la table des indices exportée en format CSV. Dans l'ensemble, les indices ont une distribution comparable (la Figure 46 en montre un exemple) ce qui permet de poursuivre l'analyse.

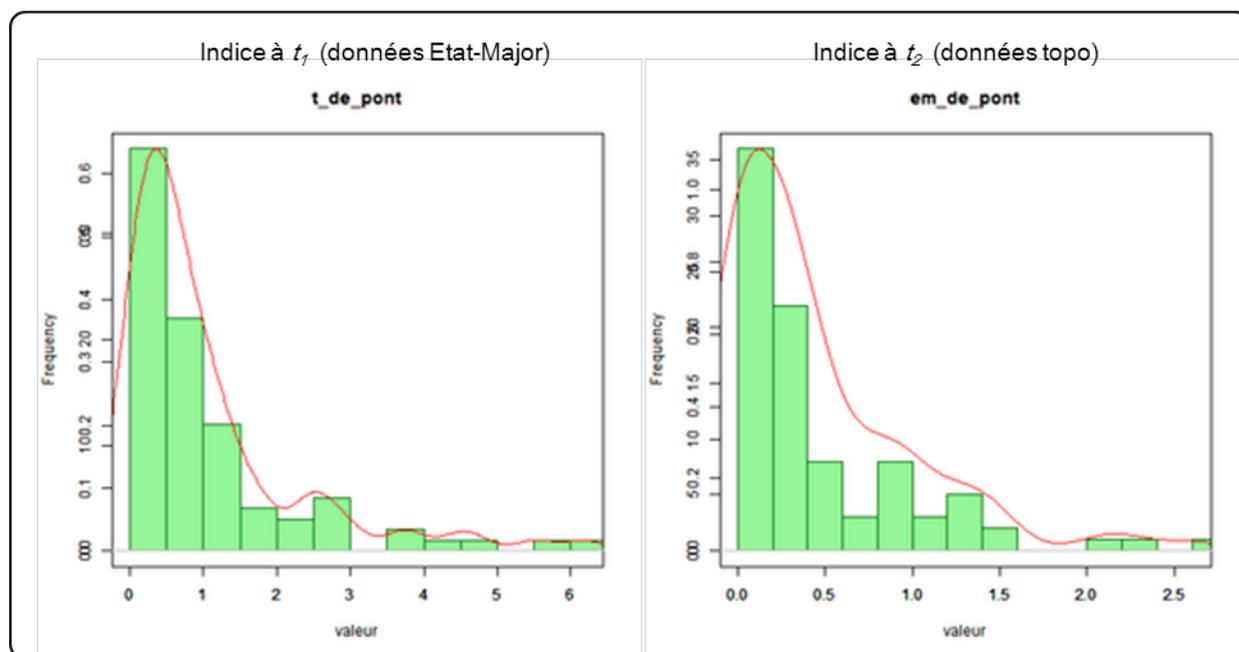


Figure 46. Distribution des valeurs de l'indice « pont » pour la zone de Grenoble à t_1 et t_2 .

4.1.2. Première analyse : ACP puis CAH

Les indices sont de nature quantitative : nous choisissons donc de mener d'abord une Analyse en Composantes Principales (ACP). Tous les indices sont pris sous leur forme normalisée : ce sont des taux.

Des matrices de corrélations de Pearson construites pour chaque zone nous permettent d'éliminer les indices trop corrélés dont la signification dans l'analyse serait redondante. La Table 7 résume les indices corrélés pour les trois zones, avec, en gras, l'indice supprimé. D'autres indices sont très corrélés mais n'expriment pas tout à fait la même information (comme, pour la zone de Saint-Malo, la densité de population et le nombre de gare) : dans ce cas aucun indice n'est supprimé.

	Corrélation « km de voies ferrées » / « voies ferrées afférentes »	Corrélation « églises » / « bâtiments religieux »	Corrélation « km de routes » / « routes afférentes »
Zone Grenoble	0,84	0,83	-
Zone Saint-Malo	0,84	-	-
Zone Reims	0,79	0,96	0,79

Table 7. Corrélations de trois paires de variables.

L'ACP est lancée sous R : il s'agit d'une ACP sur matrice de corrélation de Pearson, calculée sur les données centrées-réduites (les variables ne sont pas dans la même unité). La CAH est également réalisée sous ce logiciel, avec une métrique euclidienne et selon le critère d'agrégation de Ward. L'analyse conjointe de la position des variables sur l'axe, de la contribution de chaque variable à la construction de l'axe, et de la représentation des variables sur les différents axes, permet d'interpréter thématiquement chaque dimension factorielle.

4.1.3. Résultats

La technique d'analyse est la même que précédemment : nous ne décrivons pas ici en détail tout le processus mais seulement les caractéristiques principales et la classification finale.

4.1.3.1. Grenoble

Pour la zone de Grenoble on retient une répartition en quatre classes pour une CAH calculée sur les quatre premiers axes de l'ACP (qui résument 71% de l'inertie du tableau de données, dont 41% de variance expliquée par le premier axe) - **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

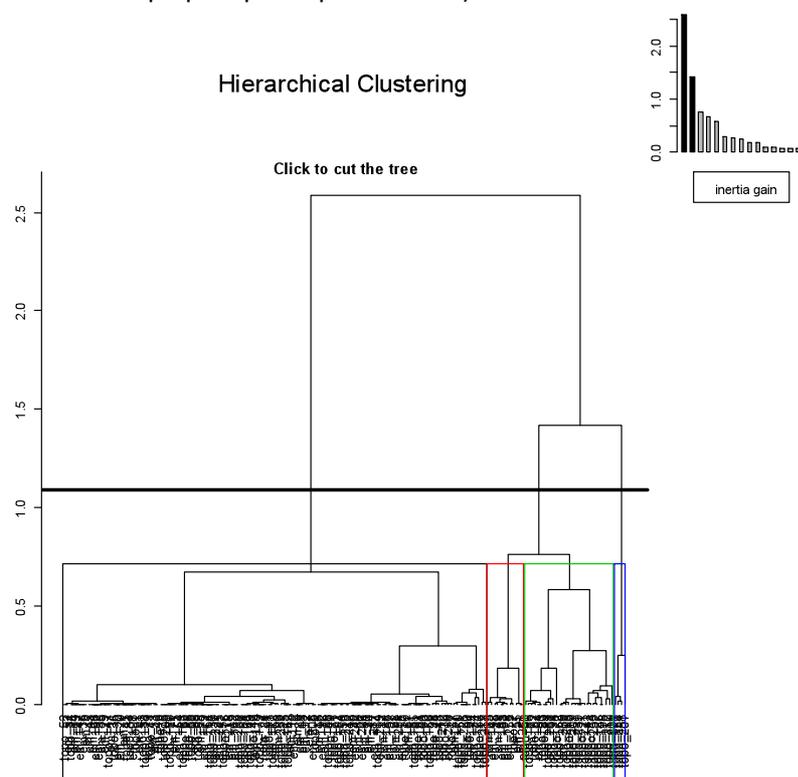


Figure 47. Dendrogramme définissant la classification du changement de la zone de Grenoble.

On a choisi un nombre de classes plus grand que celui proposé par défaut par le logiciel (quatre classes contre trois) afin d’avoir une classification plus fine des communes.

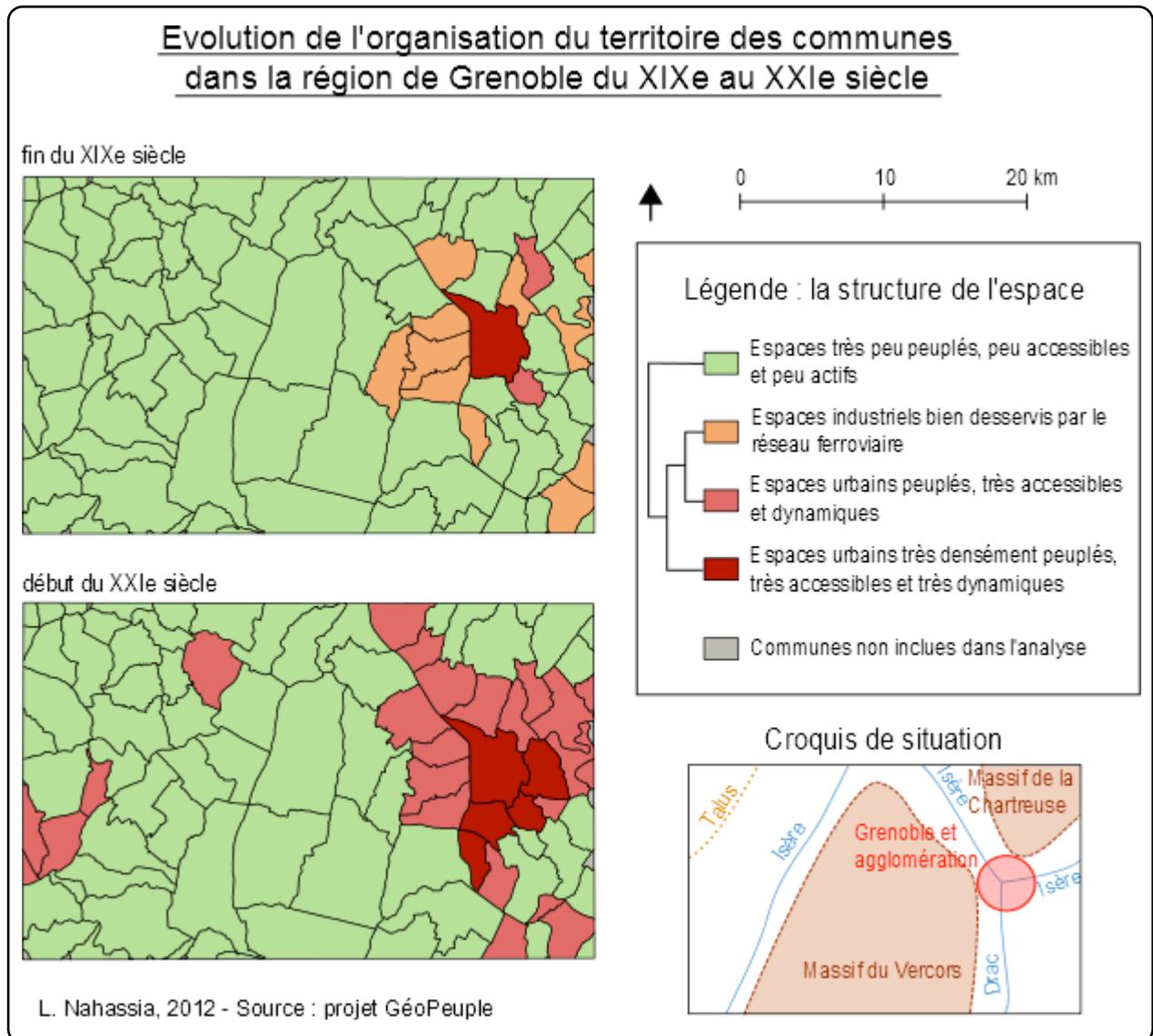


Figure 48. Carte de la classification du changement depuis le XIXe siècle de la zone de Grenoble.

Ici, contrairement aux résultats pour les données Cassini, l’espace à la fin du XIXe siècle est différencié, à l’instar de l’espace au début du XXIe siècle, comme l’illustre la Figure 48.

Au XIXe siècle, l’espace se structure en quatre classes. La grande majorité des communes appartient à la première classe : ce sont des espaces du « vide » : très peu densément peuplés, très peu accessibles et très peu actifs, tous les indices y sont négatifs. Ce sont à la fois les espaces ruraux, peu dynamiques de la vallée de l’Isère à l’ouest, loin de l’influence de Grenoble, et les espaces enclavés des massifs du Vercors et de la Chartreuse. La zone se structure nettement autour du pôle urbain de Grenoble, seule commune appartenant à la classe des espaces très dynamiques et très densément peuplés. Autour de ce centre se concentre une auréole urbaine qui profite de l’influence positive de la grande ville. Elle se décline en deux types d’espaces : les entités urbaines, aux caractéristiques semblables à Grenoble mais au poids un peu plus faible, et les communes caractérisées par une forte activité industrielle et très bien desservis par le réseau ferroviaire. La voie

ferrée est ici un élément essentiel de l'organisation du territoire, tout comme l'activité industrielle après la grande révolution technique du XIXe siècle.

Au début du XXIe siècle, l'espace s'organise de manière similaire, avec des évolutions propres à l'urbanisation et l'évolution des transports. Une grande partie des communes sont toujours peu peuplées, peu dynamiques et enclavées, mais cela concerne de manière plus prononcée les massifs que les vallées. En effet, ces dernières s'urbanisent, comme on peut le voir à l'ouest du Massif du Vercors (Polienas, Saint-Sauveur...). Grenoble a, par ailleurs, étendu son influence : un groupe de quatre communes voisines appartient à la classe de centre urbain très dynamique, et l'auréole péri-urbaine s'étend plus loin le long de l'Isère et du Drac. Cependant, on remarque que le caractère industriel n'est plus déterminant pour l'organisation du territoire, tout comme la desserte ferroviaire qui reste un élément global d'accessibilité, où le réseau routier intervient à part égale ou plus fortement, mais qui ne se démarque plus individuellement. Au XXIe siècle, c'est l'urbain qui structure l'espace.

En termes d'évolution, toutes les communes sous l'influence de Grenoble au XIXe siècle (classe 2 et 3) le sont restées au XXIe (à l'exception de deux entités). Dans l'ensemble on a donc une évolution vers plus de concentration de population et d'activité, et une accessibilité croissante, pour les communes qui changent de classe entre les deux époques. La ville de Grenoble reste stable dans son rôle prépondérant, et elle est rattrapée par ses plus proches banlieues (Saint-Martin-D'Herès, Eybens, Echirolles, Le Pont-de-Claix).

On peut donc caractériser ces trajectoires communales par quatre types d'évolutions, selon un gradient d'urbanisation, illustré par la Figure 49 :

- De la classe 1 à la classe 3 ou 4 (16 communes) : urbanisation extrêmement forte ;
- De la classe 2 à la classe 3 ou 4 (9 communes) : très forte urbanisation ;
- De la classe 3 à la classe 4 (1 commune) : forte urbanisation ;
- De la classe 2 ou 3 à la classe 1 (2 communes) : désurbanisation.

Il ne s'agit pas ici d'un classement d'urbanisation absolu mais bien d'une évolution dans la hiérarchie urbaine et péri-urbaine locale, entre le XIXe et le XXIe siècle.

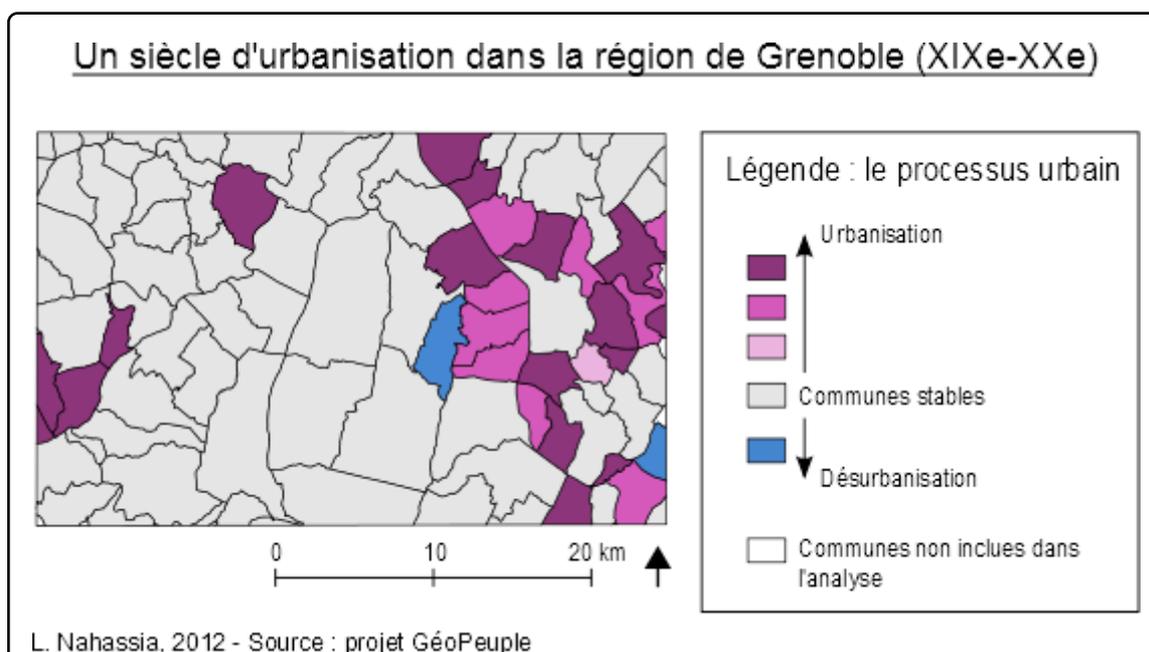


Figure 49. Carte des trajectoires communales de la zone de Grenoble.

4.1.3.2. Saint-Malo

Pour la zone de Saint-Malo on retient une répartition en cinq classes pour une CAH calculée sur les quatre premiers axes de l'ACP (qui résument 70% de l'inertie du tableau de données, dont 37% de variance expliquée par le premier axe) - Figure 50.

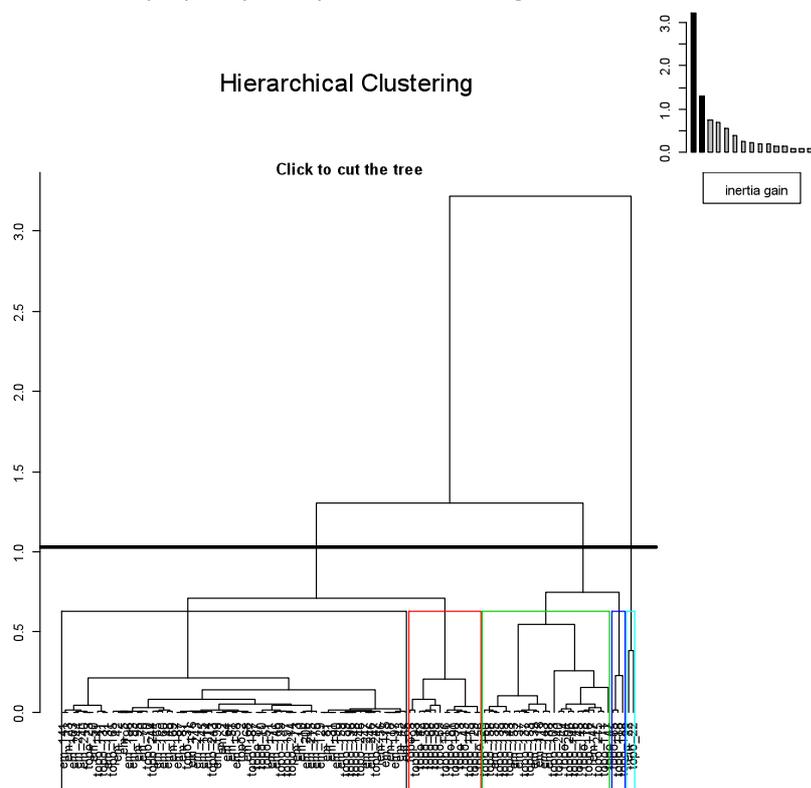


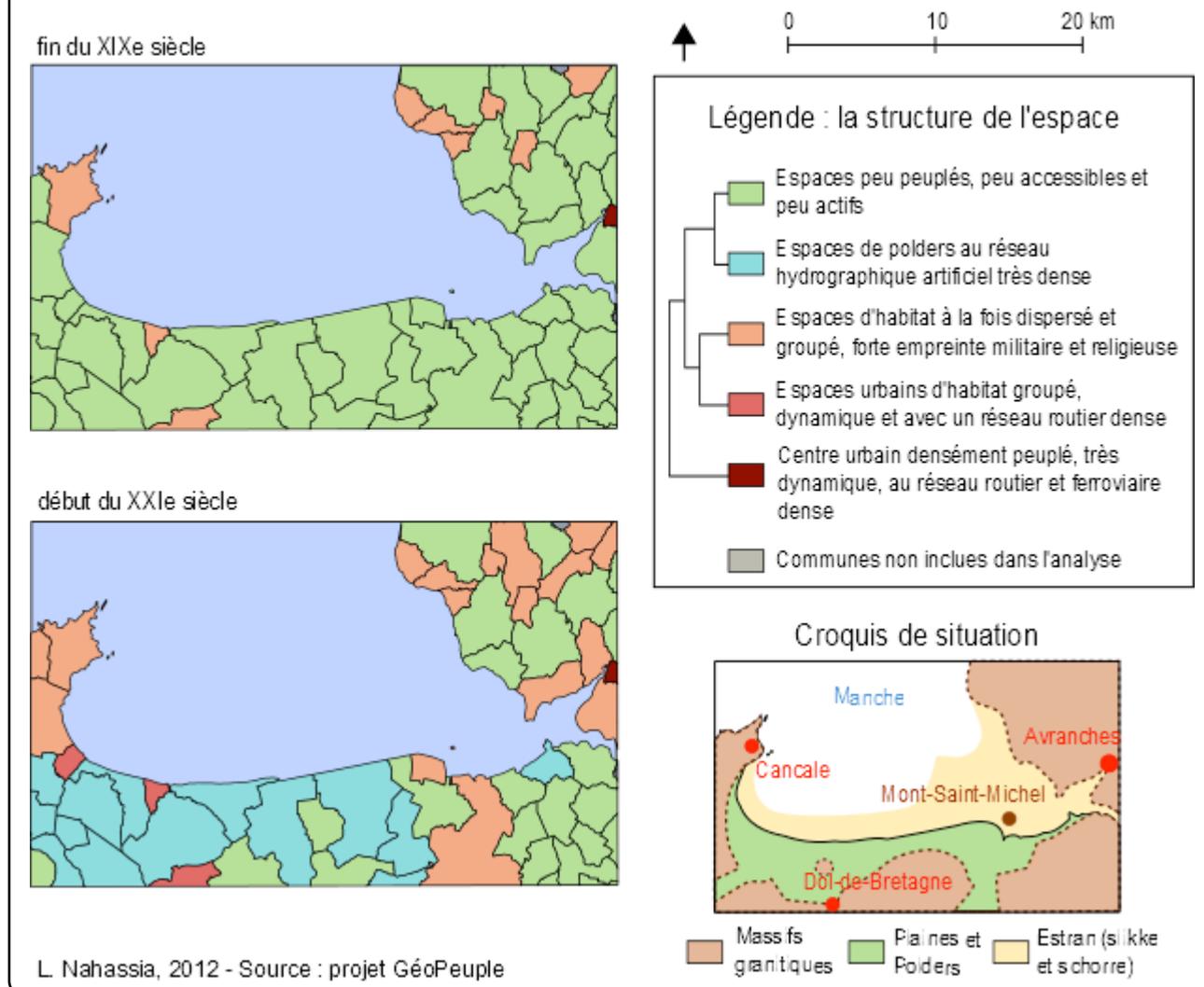
Figure 50. Dendrogramme définissant la classification du changement de la zone de Saint-Malo.

On a choisi un nombre de classes plus grand que celui proposé par défaut par le logiciel (cinq classes contre trois) afin d'avoir une classification plus fine des communes, comme l'illustre la Figure 51.

A la fin du XIXe siècle, la baie du Mont-Saint-Michel se décline en trois types d'espaces. La première classe de la CAH, celle qui comprend le plus d'effectif, rassemble les communes rurales très peu dynamiques, très peu densément peuplées et peu accessibles. Au sein de ces espaces vides ressortent des communes où la population, plus dense, s'organise selon le mode traditionnel de cette région, en hameaux et en écart. La multiplication des lieux de vies, sur les côtes à falaise où en retrait dans les terres, entraînent une multiplication des lieux de culte : ces communes sont avant tout caractérisées par la présence de nombreuses églises. Dans cette classe apparaissent aussi les communes avec un important équipement militaire : c'est le cas de Cancale qui possède deux anciens forts. Enfin, Avranches, centre urbain, ressort.

Au XXIe siècle l'organisation de l'espace s'est complexifiée. Les communes peuplées du XIXe siècle n'ont pas changé de profil, à l'exception du Vivier-sur-Mer et de Dol-de-Bretagne qui se sont densifiées : avec Saint-Benoît-des-Ondes elles appartiennent à la classe des espaces urbains d'habitat groupé, dynamiques et accessibles, mais au poids inférieur à celui d'Avranches qui garde la même importance. Les espaces de vides se sont recomposés en deux types de communes : une partie s'est densifiée et peuplée, en périphérie ou en voisinage de communes déjà dynamiques, et d'autres sont caractérisées par un très fort réseau hydrographique artificiel. Il s'agit de la deuxième classe, des

Evolution de l'organisation du territoire des communes dans la baie du Mont-Saint-Michel du XIXe au XXIe siècle



espaces de polders d'élevage et de prairies.

Figure 51. Carte de la classification du changement depuis le XIXe siècle de la zone de Saint-Malo.

On peut donc caractériser deux types d'évolution des communes :

- Un processus de densification de la population et du bâti sous forme d'habitat à la fois dispersé et groupé : les communes rurales vides deviennent des espaces habités et les communes habitées deviennent des centres urbains secondaires à l'échelle de la zone ;
- Un processus de modification de l'aménagement des espaces agricoles et d'élevage avec l'apparition d'un dense réseau de petits canaux permettant le drainage des polders en amont du marais-maritime.

Ces trajectoires sont organisées ci-dessous :

- De la classe 1 à la classe 2 (13 communes) : réaménagement physique de l'espace ;
- De la classe 1 à la classe 3 (11 communes) : densification de la population et du bâti ;
- De la classes 1 ou 2 à la classe 4 (3 communes) : urbanisation.

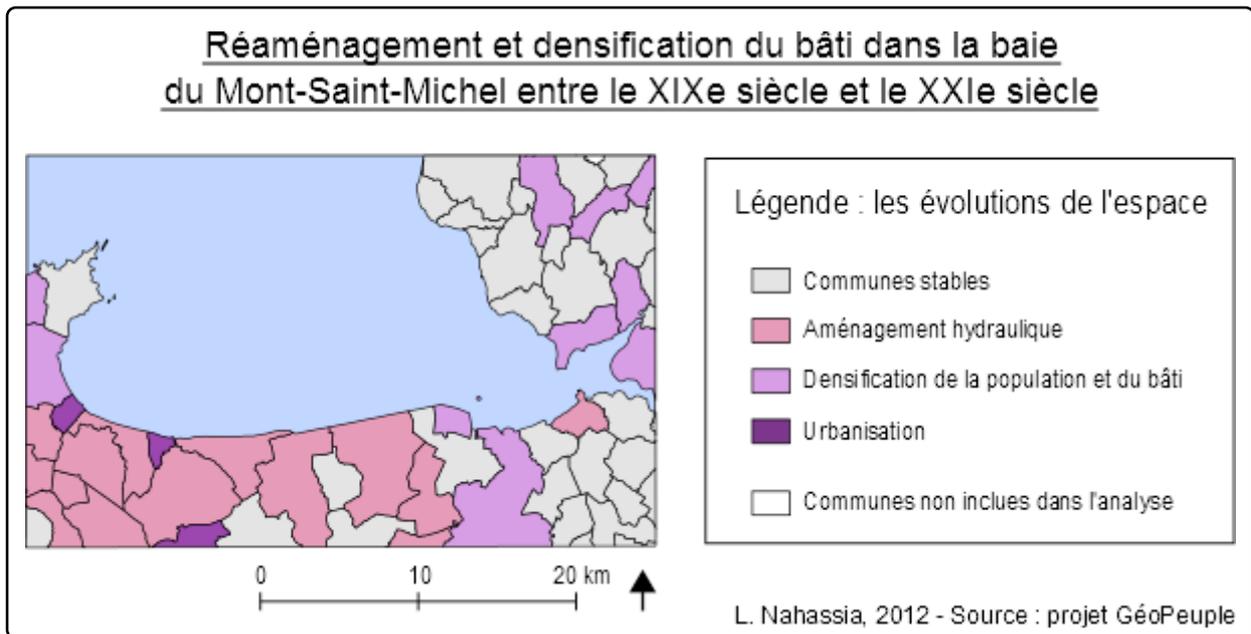


Figure 52. Carte des trajectoires communales de la zone de Saint-Malo.

4.1.3.3. Reims

Pour la zone de Reims on retient une répartition en quatre classes pour une CAH calculée sur les quatre premiers axes de l'ACP (qui résument 72% de l'inertie du tableau de données, dont 39% de variance expliquée par le premier axe) - Figure 53.

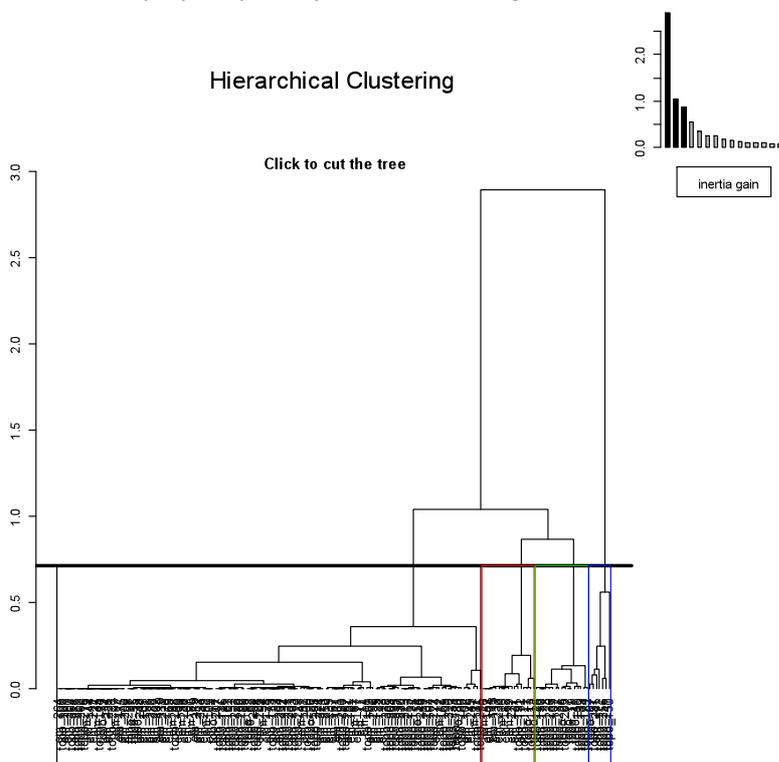


Figure 53. Dendrogramme définissant la classification du changement de la zone de Reims.

Evolution de l'organisation du territoire des communes dans la région de Reims du XIXe au XXIe siècle

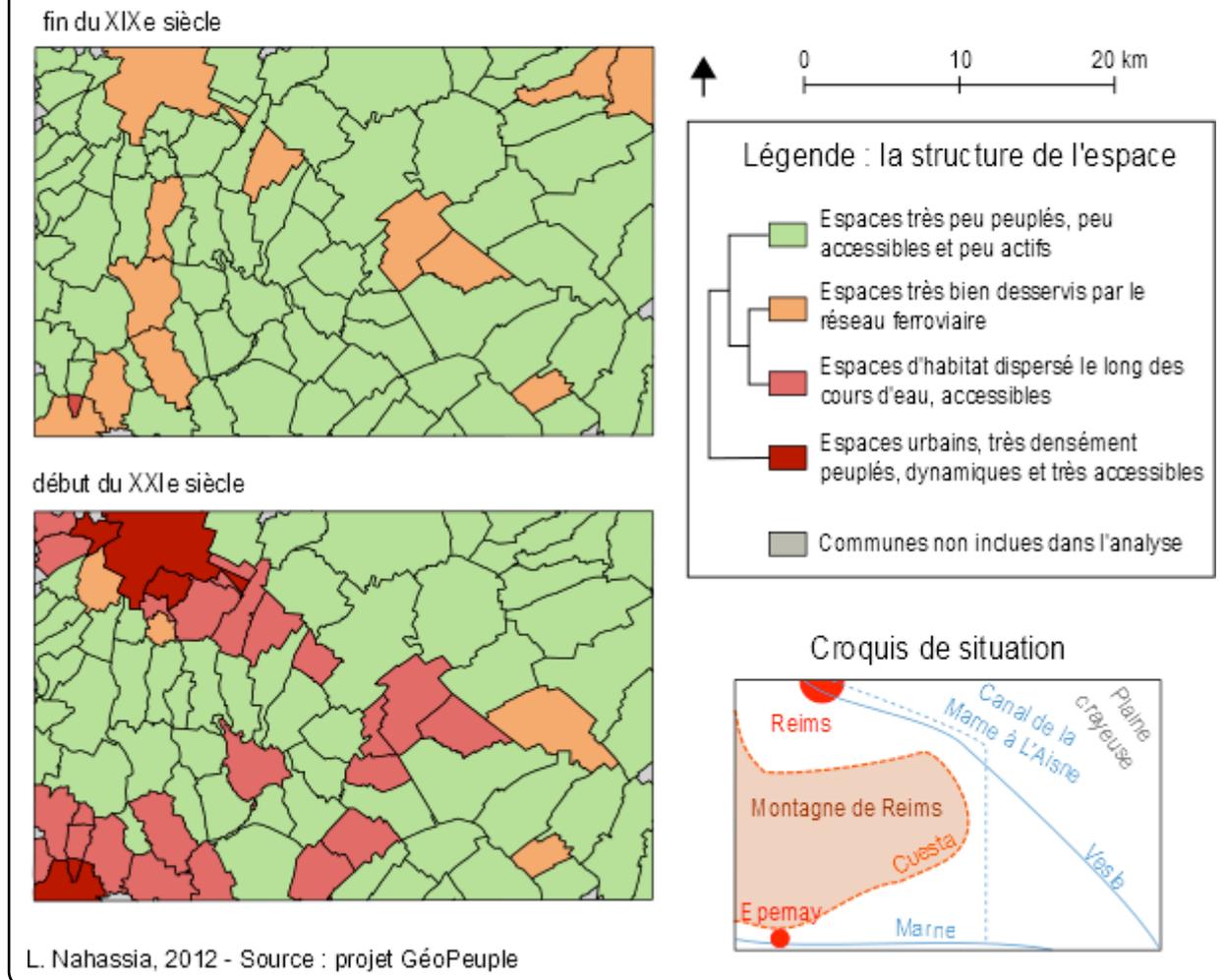


Figure 54. Carte de la classification du changement depuis le XIXe siècle de la zone de Reims.

Au XXIe siècle, les communes de la zone sont dans l'ensemble réparties en deux classes. La grande majorité forme une première classe de commune très peu actives, peu accessibles, et peu peuplées : il s'agit d'espaces ruraux, agricole, d'une partie de la Montagne de Reims. Le deuxième groupe de communes est caractérisé par l'importance des voies ferrées et leur très bonne accessibilité sur leur réseau ferroviaire (beaucoup de gares et de stations). Leur disposition correspond quasi exactement au tracé des voies ferrées, comme le montre la Figure 55 . Dans cette zone aussi on voit donc que le réseau ferroviaire, paramètre essentiel de la révolution industrielle et des transports du XXIe siècle, est un élément très structurant de l'espace. Enfin, la commune de Magenta, au nord d'Epernay, ressort : c'est la seule qui appartient à la classe des espaces accessibles et d'habitat dispersé, proche des cours d'eau artificiels. C'est surtout la faible surface de cette commune, rapportée aux nombreux équipements qui s'y situent, qui explique sa prépondérance dans cette classification par rapport à des communes plus grandes telles que Reims ou Epernay.

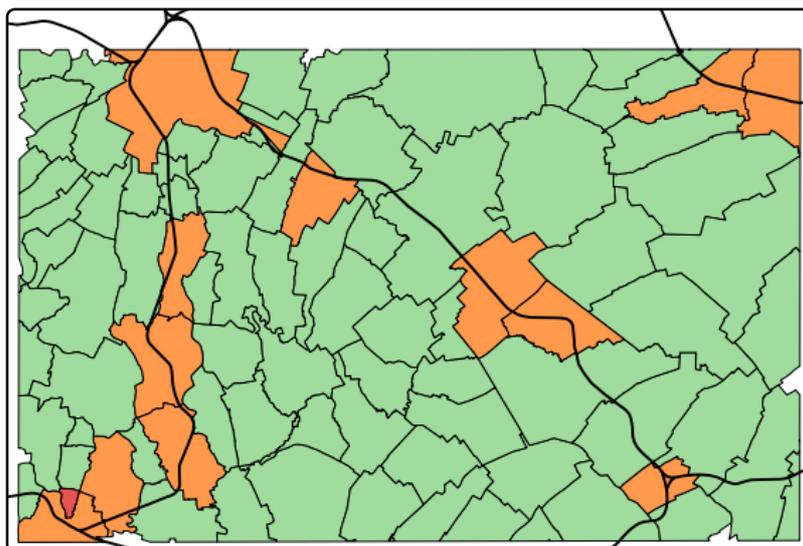


Figure 55. Tracé des voies ferrées principales sur les communes au XIXe siècle de la zone de Reims.

Au XXI siècle, l'influence du réseau ferroviaire a beaucoup baissée. Un grand nombre de communes appartenant à la deuxième classe sont maintenant caractérisées par leur habitat dispersé, leur accessibilité qui intègre autant la route que les voies ferrées, et surtout leur proximité aux canaux. Elles se situent donc sur le tracé des cours d'eau et en périphérie des pôles urbains. Les communes d'Épernay et de Reims ainsi que leurs voisines constituent des centres urbains régionaux, très densément peuplés, très actifs, et très accessibles. A l'inverse certaines communes ont périclité, sur la Montagne de Reims, espace marginalisé par un accès difficile, et au nord-est de la zone. La voie ferrée n'y a pas apporté de dynamique assez forte pour qu'elles puissent s'inscrire dans le temps comme des communes actives.

On peut qualifier 4 types de trajectoires, selon un gradient d'urbanisation, que l'on prend ici sous un sens assez vaste : l'habitat se densifie, les communes deviennent plus accessibles (elles sont mieux intégrées au réseau ferroviaire, routier, ou les deux) et plus dynamique. Les communes proches d'entités déjà dynamiques au XIXe siècle (Épernay, Reims, Val-de-Vesle...) profitent de leur influence, et l'urbanisation s'étale en tâche d'huile. Ces trajectoires sont illustrées par la Figure 56 :

- De la classe 1 à la classe 4 : urbanisation extrêmement forte ;
- De la classe 1 à la classe 3 et de la classe 2 à la classe 4 : très forte urbanisation ;
- De la classe 1 à la classe 2, de la classe 2 à la classe 3 et de la classe 3 à la classe 4 : forte urbanisation ;
- De la classe 2 à la classe 1 : désurbanisation.

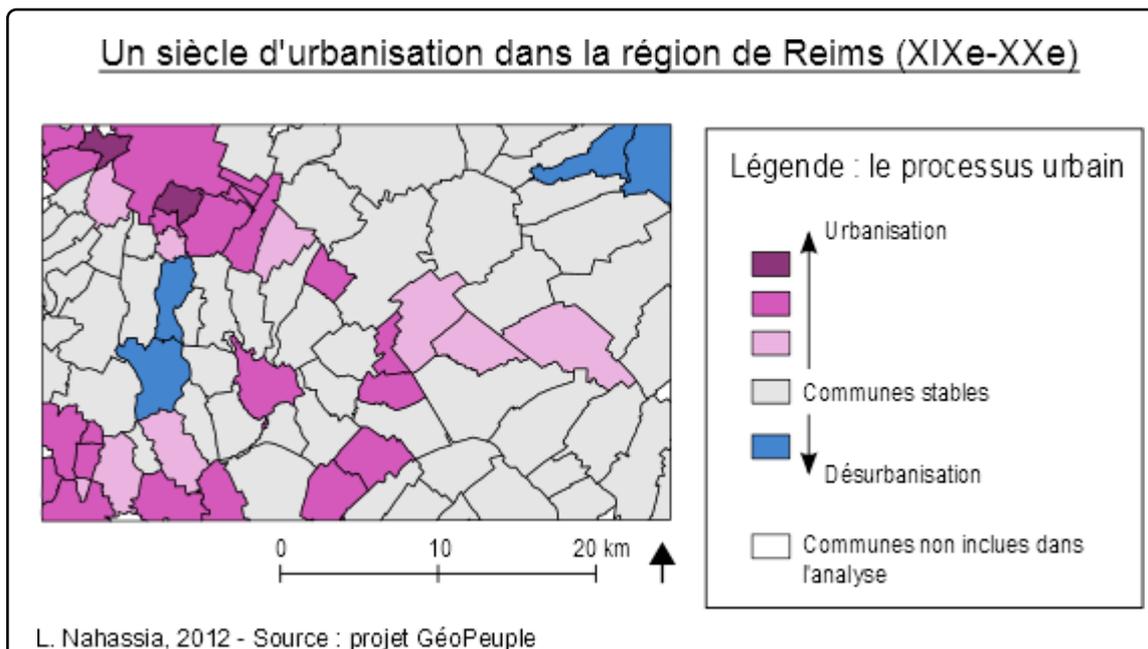


Figure 56. Carte des trajectoires communales pour la zone de Reims.

4.1.4. Interprétation des résultats

A la fin du XIXe, les espaces sont structurés par des équipements et des fonctions caractéristiques de ce siècle : le chemin de fer à Reims et Grenoble, l'industrie à Grenoble. La zone de Saint-Malo n'est pas un espace industriel au XIXe siècle, contrairement aux deux autres zones qui se développent grâce à cette activité : de ce fait les communes n'y sont différenciées que par la densité de bâti et de population.

L'évolution de l'organisation de ces espaces est largement influencée par le processus d'urbanisation, considéré dans un sens très large : les communes se densifient en population et en bâti, l'habitat se regroupe, les activités se multiplient et l'accessibilité augmente, avec la voie ferrée qui se trouve rattrapée par le réseau routier. On distingue bien sur les différentes cartes la progression en tâche d'huile de cette urbanisation : au XXIe siècle que les communes nouvellement dynamiques sont voisines de celles qui l'étaient déjà au XIXe siècle.

5. Conclusion

5.1. Bilan

Dans ce rapport, l'analyse exploratoire menée cherche à identifier des corrélations entre évolutions administratives et topographiques, le terme topographique devant être pris dans le sens le plus large : tout ce qui se trouve représenté sur les cartes, aussi bien en terme d'équipement d'origine anthropique (routes, voies ferrées, moulins, industries, bâtiments) que de caractéristiques naturelles géophysiques (hydrologie, relief). Du fait des différences de représentation et de sélection existant entre les cartes de Cassini, de l'Etat-Major et de la BDTopo, un soin particulier est porté à l'élaboration d'indices permettant au plus possible de comparer des territoires entre le XVIIIème siècle et le XXIème siècle.

L'unité spatiale de comparaison choisie est la commune, dans ses limites actuelles et dans lesquelles tous les indices possibles (population, topographie, etc) sont calculés, pour chaque époque. Il faut remarquer que les indices qui ont pu être construits qualifient surtout des caractères plus ou moins urbains (postes, routes, tissus urbain, bâtiments industriels, etc.), tandis que les aspects ruraux des territoires ne sont pas représentés, surtout en terme d'activité agricole. Il n'y a pas d'indice exprimant, la surface cultivée, la surface moyenne de parcelle ou le nombre d'exploitations. Il est donc cohérent que les territoires soit caractérisés avant tout par le fait urbain – les espaces ruraux, eux, sont décrits en fonction de l'activité industrielle ou en pendant négatif aux espaces urbains (pas d'habitat groupé, peu de services, etc.). Enfin, l'analyse doit être menée zone par zone, puisque chaque zone a des propriétés différentes (habitat groupé versus dispersé pour Reims et Agen, ou zone de côte maritime sur Saint-Malo, ou de montagne autour de Grenoble).

Les résultats de l'analyse du changement permettent d'établir des classes de communes ayant un profil de changement commun. Pour le changement à partir de l'époque Cassini, elles correspondent uniquement à la classification que l'on pourrait établir avec les indices de la BDTopo actuelle. En effet, toutes les communes sous Cassini font partie d'une seule et même classe, de type rural. La pertinence des profils actuels est confirmée par l'observation sur le terrain. La question est de savoir si cela est du à un biais sélectif ou bien à une véritable homogénéité du territoire sous Cassini ? Pour répondre à cette question, nous avons intégré des variables topographiques « naturelles », et établi une classification sur l'époque Cassini des communes. Pour cette époque prise indépendamment, l'analyse fait bien ressortir une organisation spatiale du territoire qui montre la polarisation du territoire français autour des pôles urbains pour le XVIIIème siècle comme pour le XXIème siècle, quelques soient les zones d'étude. On conclut donc que l'analyse du changement par suivi de profil de commune mélangeant indices de toutes époques écrase la différenciation existante sous Cassini, du fait peut-être de la différenciation plus forte existant au XXIème siècle, mais aussi peut-être du fait du biais sélectif et de représentation, qui rendent les données de la BDTopo beaucoup plus discriminantes que celles de Cassini. Ces deux effets se conjuguent et rendent finalement la méthode d'analyse employée mal adaptée à l'étude du changement topographique entre les données issues des cartes de Cassini et celles de la BDTopo.

En revanche, l'analyse du changement à depuis l'Etat-Major donne des résultats plus intéressants dans la mesure où les communes au XIXe siècle sont déjà différenciées, avec certaines classes qui ont des caractéristiques propres à cette période (la classe « accessibilité sur le réseau ferroviaire et activité industrielle » pour la zone de Grenoble par exemple). Statistiquement les données issues des cartes d'Etat-Major peuvent être comparées à celles de la BDTopo : le mode de représentation de ces deux sources sont proches, le biais sélectif a un donc un impact beaucoup moins fort que pour les données issues des cartes de Cassini.

Par ailleurs, l'analyse des corrélations entre classes topographiques et classes administratives, pour l'étude de l'évolution depuis les données issues des cartes de Cassini, ne permet pas de mettre en évidence un lien entre changement administratif et caractéristiques topographiques (celle incluant les trajectoires des communes identifiées à partir des données issues des cartes d'Etat-Major reste à calculer). Et ceci soit que l'on considère les classes de changements topographiques, ou simplement les classes construites à partir des données topographiques à un instant donné. Cette non-corrélation peut trouver des explications dans le fait que la topographie ne rend pas forcément compte des jeux de pouvoir locaux, ni de la vie politique locale. Or l'histoire des communes françaises est très intimement liée à celles des paroisses religieuses antérieures à la Révolution française, elles possèdent une identité forte [Motte 2008], portée par des édiles locaux (les maires) qui défendent les intérêts de leur commune, au-delà des considérations économiques de l'échelle supérieure, preuve en est la difficulté de réalisation de l'échelon intercommunal actuel [Vergnaud 2011].

5.2. Perspectives

Il reste certainement d'autres méthodes d'exploration des données à développer. En particulier, nous n'avons pas étudié de façon systématique comment des régionalisations de l'espace (clustering par nuées dynamiques sur les communes) fabriquées à un temps t initial (Cassini ou Etat-Major) pouvaient ensuite avoir évolué.

Egalement, il serait peut-être pertinent d'évaluer la corrélation des indices de changements administratifs avec les indices fonctionnels pris séparément, et non pas avec chacune des classes constituées, qu'elle soit pour un temps fixe (Cassini ou Etat-Major) ou pour une classe de changement. Par ailleurs notre méthodologie pourrait gagnée à être étendue avec des Analyses en Composantes Multiples, pour considérer non plus les indices comme purement quantitatifs mais en les discrétisant dans des classes de manière à considérer ces valeurs comme essentiellement qualitatives. Ceci permettrait par là-même d'introduire une dimension qualitative inhérente au jeu administratif (comme par exemple le statut de chef-lieu et la position hiérarchique dans l'organisation administrative des communes), et de mesurer des liaisons peut-être non linéaires entre changement administratif et changement fonctionnel.

Par ailleurs, toutes les hypothèses émises par les historiens (rôle sur la proximité des chefs-lieux), ainsi que des hypothèses classiques d'analyse spatiale (rang des tâches urbaines dans le système des villes françaises) n'ont pas été explorées [Pumain 2010 ; Lepetit 1980], en raison d'un manque de temps. Ces questions restent à explorer et pourraient certainement apporter de nouveaux éclairages à la question qui guide notre recherche : en quoi le passé d'un territoire peut-il expliquer sa situation actuelle ?

Plus largement, il est possible en effet d'abandonner la question du redécoupage administratif et d'analyser ces données d'un point de vue purement géographique et démographique. Nos questionnements rejoindraient alors ceux développés dans le cadre de la science de l'écologie des paysages et de l'aménagement territorial « durable », avec l'étude de la résilience des paysages [Girel 2006 ; Madry 2011]. Dans ce cadre, il nous semble que des données d'occupation du sol au XIXème siècle, saisies par d'autres projets comme celui de l'INRA de Nancy [Vallauri 2012], ou bien à saisir par exemple sur les minutes couleurs de l'Etat-Major, seraient d'une grande utilité.

6. Bibliographie

- Berthaut H.-M.-A., 1898. *La Carte de France, 1750-1898, étude historique*, Paris: Imprimerie du Service Géographique.
- Bacchus M., Dupuis J.-C., 1990, "Une nouvelle carte de France par levé cadastral : bilan d'une idée révolutionnaire". *Cartes, Cartographes et géographes*, actes du 114e congrès national des sociétés savantes, Paris, 1989, ed. CTHS, 1990
- Cassini de Thury C.-F., 1754. *Avertissement ou Introduction à la carte générale et particulière de la France*, Bibliothèque nationale de France.
- Cenat J.-P., 2008. Stratégie, logistique et propagande : l'usage des cartes militaires par Chamlay. *Le Monde des cartes*, (195), pp.27–37.
- Chareille P., Rodier X. et Zadora-Rio E., 2004. Analyse des transformations du maillage paroissial et communal en Touraine à l'aide d'un SIG. *Histoire et mesure*, 3/4(2004), pp.314–344.
- Costes B., Grosso E. et Plumejeaud C., 2012. Géoréférencement et appariement de données issues des cartes de Cassini. In *SAGEO'2012*. Liège. A paraître.
- De Dainville F., 1964. *Le langage des géographes*, Paris : Editions A. et J. Picard.
- Estienne P., 1991. *Les régions françaises*, Paris: Masson.
- Gamblin A., 2000. *La France dans ses régions*, Paris: Sedes.
- Girel J., 2006. Quand le passé éclaire le présent : écologie et histoire du paysage. *Géocarrefour [En ligne]*, 81/4 (2006)
- Grosso E., 2012. *Service d'intégration de données géographiques - Intégration de données anciennes dans un référentiel récent*. Thèse de doctore. Université de La Rochelle. A Paraître.
- Husson F., Lê S. et Pagès J., 2009. *Analyse de données avec R*, Presses universitaires de Rennes.
- Institut national de la statistique et des études économiques, 2012a, « INSEE - Définitions et méthodes – Unité urbaine », en ligne
<<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm>>, consulté le 20/08/2012
- Institut national de la statistique et des études économiques, 2012b, « INSEE – Population – La population légale des communes » [en ligne]
<http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1217#inter2>, consulté le 20/08/2012
- Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 2011. BDTopo - spécifications de contenu, V2.1. En ligne sur :
http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTopo_2_1.pdf, consulté le 20/09/2012
- Lebart, L., Morineau, A. et Piron M., 1995. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Paris: Dunod.

- Lepetit Bernard, Royer Jean-François. 1980. Croissance et taille des villes : contribution à l'étude de l'urbanisation de la France au début du XIXe siècle (présentation : Jean-Claude PERROT). In: Annales. Économies, Sociétés, Civilisations. 35e année, N. 5, 1980. pp. 987-1010.
- Madry S., Jones A.E. et Tickner A., 2011. Une micro-histoire de la terre et de l'utilisation des ressources : l'intégration des SIG-H (Systèmes d'Information Géographique historiques) et des données qui y sont liées en Bourgogne du Sud, France. *Le Monde des Cartes*, 208, pp.75–94.
- Morizet M., 2008. Les instruments de levé topographique à l'époque de Vauban. Progrès et immobilisme. *Le Monde des Cartes*, 195, pp.7–14.
- Motte C., Vouloir M-C., « Frontières administratives et identités communales. Le cas de la France, XVIIIe-XXe siècles », *The Historical Review*, Athènes, vol. V, 2008
- Pelletier M., 1990. *La carte de Cassini. L'extraordinaire aventure de la carte de France*, Paris: Presses de l'École nationale des Ponts-et-Chaussées.
- Piron M., Dureau F. et Mullon C., 2004. Utilisation de typologies multi-dates pour l'analyse des transformations socio-spatiales de Bogota (Colombie). *Cybergeo: European Journal of Geography [En ligne]*, (Espace, Société, Territoire), p.article 256.
- Plumejeaud C., 2012a. *L2.0-2 Présentation des données*. Rapport du projet GéoPeuple.
- Plumejeaud C., Vouloir M-C., 2012b. *L2.1-2 Contenu de la carte de Cassini et sa modélisation en vue de sa vectorisation*. Rapport du projet GéoPeuple.
- Plumejeaud C., 2012c. *L2.1-3 Contenu de la carte d'Etat-Major et sa modélisation en vue de sa vectorisation*. Rapport du projet GéoPeuple.
- Plumejeaud C., 2012d. *L2-3.4 Intégration des données démographiques*. Rapport du projet GéoPeuple.
- Puissant A., Skupinski G. et Weber C., 2008. *RT2.1 Tache 2 - Formalisation et construction des objets urbains*. Rapport du projet GeOpenSim.
- Pumain D. et Saint-Julien T., 2010. *Analyse spatiale: Les interactions*, Paris: Armand Colin.
- Pumain D., Saint-Julien T. et Mathian H., 2004. *L'analyse spatiale: Localisations dans l'espace*, Paris: Armand Colin.
- Robert, S., 2006. Résilience des réseaux routiers : l'exemple du Val-d'Oise. *Bulletin AGER*, 15, pp.8–14.
- Robert S. et Verdier, N. 2009. Pour une recherche sur les routes, voies et réseaux.... *Les Nouvelles de l'archéologie*, 115, pp.5–8.
- Vallauri D., Grel A., Granier E., Dupouey J.L. 2012. Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles. Rapport WWF/INRA, Marseille, 64 pages + CD.
- Verdier N., 2009. La labilité du réseau aux XVIIIe et XIXe siècles. Le cas de la Poste aux Chevaux dans le quart nord-ouest de la France. *Les nouvelles de l'archéologie*, 115, pp.13–17.

Vergnaud G. 2011. A la recherche de la maille territoriale intermédiaire : approche comparée des recompositions et de l'aménagement des territoires en Rhône-Alpes (France) et en Catalogne (Espagne), Thèse en géographie, ENS Lyon, Soutenue le 15.10.2011.

Virevialle F., 2008. *SIGARCH Archaeological and historical GIS*: A mutualized historical urban database, Saint-Mandé.

7. Annexe

1) Code SQL pour l'indice sur les données Cassini

```
ALTER TABLE limite_analyse ADD COLUMN c_n_militaire integer DEFAULT 0;
-- ALTER TABLE limite_analyse DROP c_n_militaire;
-- INSERTION
UPDATE limite_analyse c1 SET c_n_militaire = (
    SELECT count(*)
    FROM limite_analyse as c, cassini_non_religieux as b
    WHERE ST_Contains(c.geom, ST_SetSRID(b.geom,2154))
    AND (nature = 4 OR nature = 8 OR nature = 9 OR (nature = 12 and description LIKE 'Tour%'))
    AND c.gid=c1.gid
);
-- UPDATE limite_analyse SET c_n_militaire=DEFAULT;

ALTER TABLE limite_analyse ADD COLUMN c_de_militaire double precision NOT NULL DEFAULT 0;
-- ALTER TABLE limite_analyse DROP c_de_militaire;
-- INSERTION
UPDATE limite_analyse c1 SET c_de_militaire = (
    SELECT c.c_n_militaire/c.aire
    FROM limite_analyse as c
    WHERE c.gid=c1.gid
);
-- UPDATE limite_analyse SET c_de_militaire = DEFAULT;
```

2) Code SQL pour l'indice sur les données topo

```
ALTER TABLE limite_analyse ADD COLUMN t_n_militaire integer DEFAULT 0;
-- ALTER TABLE limite_analyse DROP t_n_militaire;
-- INSERTION
UPDATE limite_analyse c1 SET t_n_militaire = (
    (SELECT count(*)
     FROM limite_analyse as c, topo_pai_administratif_militaire as b
     WHERE ST_Contains(c.geom, b.geom)
     AND (nature='Enceinte militaire' OR nature='Gendarmerie' OR nature ='Ouvrage militaire')
     AND c.gid=c1.gid)
    +
    (SELECT count(*)
     FROM limite_analyse as c, topo_bati_remarquable as b
     WHERE ST_Contains(c.geom, St_PointOnSurface(b.geom))
     AND nature='Fort, blockhaus, casemate'
     AND c.gid=c1.gid)
);

-- UPDATE limite_analyse SET t_n_militaire = DEFAULT;
ALTER TABLE limite_analyse ADD COLUMN t_de_militaire double precision DEFAULT 0;
-- ALTER TABLE limite_analyse DROP t_de_militaire;
-- INSERTION
UPDATE limite_analyse c1 SET t_de_militaire = (
    SELECT c.t_n_militaire/c.aire
    FROM limite_analyse as c
    WHERE c.gid=c1.gid );
```