



GéoPeuple



Analyse de données

Zones d'étude : Grenoble, Saint-Malo et Reims

Rapport numéro	L4.2
Titre	Analyse des évolutions
Rédigé par	Ana-Maria Olteanu Raimond (COGIT/IGN)
Etat (en cours / final)	Final
Relu par	Claude Motte (LaDéHis/EHESS)
Date	Décembre 2013

L'objectif de ce livrable est de décrire les méthodes et les résultats des analyses des évolutions topographiques et démographiques des communes françaises de la fin du XVIII^e siècle et jusqu'à nos jours. Les méthodes d'analyse d'évolution que nous avons proposé ont été appliquées sur trois zones d'études à savoir Grenoble, Saint-Malo et Reims et en prenant en compte trois temporalités : la fin du XVIII^e siècle, la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle. Notons que, ce livrable représente la continuité des travaux présentés dans le livrable L4.1 (Nahassia et Plumejeaud, 2012).

Table des matières

1.	Présentation des données utilisées	4
1.1.	Les données topographiques et démographiques	4
1.2	Les zones d'étude	5
1.3	Les indicateurs.....	6
2.	Méthode d'analyse d'évolutions des données topographiques et démographiques.....	9
2.1	Classification des communes	9
2.2	Définition et analyse des séquences temporelles.....	12
2.3	Etude des corrélations.....	14
3.	Analyse des indicateurs topographiques	15
4.	Résultats sur la zone de Grenoble	17
4.1	Analyse de la classification.....	17
4.1.1	Classification des communes selon la topographie	17
4.1.2	Classification des communes selon la population	24
4.1.3	Mise en évidence des phénomènes locaux	26
4.2	Analyse des évolutions	26
4.2.1	Evolution de la distribution de communes par classe	27
4.2.2	Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités.....	28
4.2.3	Analyse locale des patterns d'évolution sur deux temporalités..	32
4.3	Analyse des corrélations	36
5.	Résultats sur la zone Saint-Malo	38
5.1	Analyse de la classification.....	38
5.1.1	Classification des communes selon la topographie	38
5.1.2	Classification des communes selon la population	41
5.1.3	Mise en évidence des phénomènes locaux	42
5.2	Analyse des évolutions	43
5.2.1	Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités.....	43
5.2.2	Analyse locale des patterns d'évolution sur deux temporalités..	45
5.3	Analyse des corrélations	48
6.	Résultats sur la zone de Reims.....	49
6.1	Analyse de la classification.....	49
6.1.1	Classification des communes selon la topographie	49
6.1.2	Classification des communes selon la population	55
6.1.3	Mise en évidence des phénomènes locaux	57
6.2	Analyse des évolutions	57
6.2.1	Evolutions de la distribution de communes par classe	57
6.2.2	Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités.....	59
6.2.3	Analyse locale des patterns d'évolution sur deux temporalités..	63
6.3	Analyse des corrélations	67

Conclusion	68
Bibliographie	70

1. Présentation des données utilisées

Le livrable L.4.2 V1 (Nahassia et Plumejeaud, 2012) présente, entre autres, une description détaillée des données spatio-temporelles que nous utilisons pour analyser les évolutions du territoire sur deux siècles. La description concerne les imprécisions spatio-temporelles des données, le choix des indicateurs et leur calcul. Dans cette partie nous rappelons seulement les zones d'étude, les données utilisées ainsi que les indicateurs.

1.1. Les données topographiques et démographiques

L'ensemble des données vectorisées nous permet de réaliser des analyses d'évolution du territoire du XVIII^e siècle jusqu'à nos jours. Nous disposons d'une part d'une base de données géographiques historiques, et d'autre part, d'une base de données démographiques historiques représentant la population et les changements administratifs au cours du temps à l'échelle de la commune.

La Figure 1 illustre les données à notre disposition, à savoir les données démographiques historiques représentant la population et les changements administratifs communaux (Plumejeaud et Le Bras, 2012) et les données topographiques historiques représentant l'espace naturel et construit du monde réel (Plumejeaud 2012a, Plumejeaud et Vouloir 2012a, Plumejeaud et Vouloir 2012b).

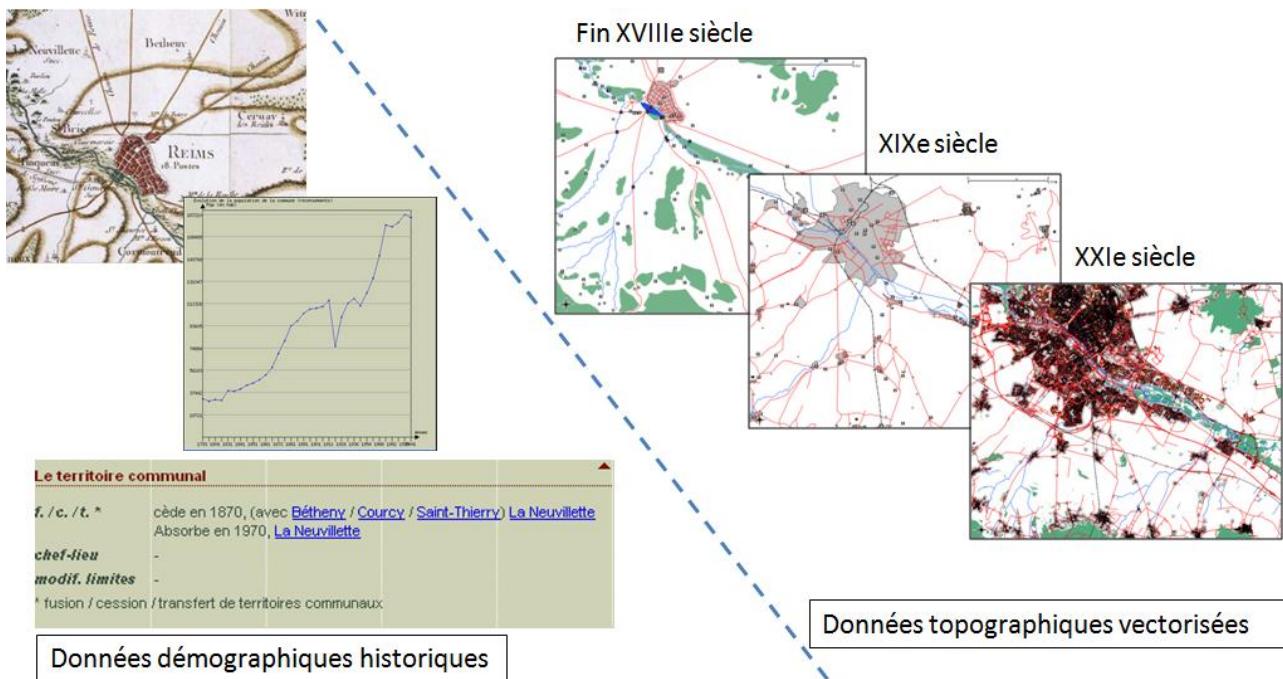


Figure 1. Exemple de données historiques mises à notre disposition

Comme il a été déjà mentionné, les données démographiques et topographiques présentent des hétérogénéités spatiales et temporelles, puisque la population est rapportée à la commune avec un pas de temps de 5 ans en moyenne à partir de 1793, tandis que les données topographiques, numérisées à partir des cartes anciennes (la carte de Cassini ou la carte d'Etat-Major) ou issues de la BDTOPO actuelle, sont pseudo-continues d'un point de vue spatial et avec un pas de temps d'environ 100 ans. Par conséquent, le choix de la composante temporelle et spatiale de notre analyse est guidé par les données topographiques pour la composante temporelle, et par les données démographiques pour la composante spatiale.

Étant donné que la répartition de la population depuis 1793 jusqu'à nos jours est à l'échelle de la commune, le choix de prendre la commune comme unité spatiale d'analyse nous a semblé évident. En ce qui concerne le choix des limites communales, nous avons choisi d'utiliser les limites actuelles des communes de la BDTOPO 2011, plutôt que les limites communales anciennes reconstituées, qui peuvent être imprécises et parfois incomplètes.

En ce qui concerne la composante temporelle, nous disposons des données topographiques à trois dates ponctuelles t_1 , t_2 et t_3 qui représentent en général la publication des cartes anciennes pour t_1 et t_2 et la dernière mise à jour de la BDTOPO pour t_3 . Or, les cartes de Cassini et d'Etat-Major représentent l'information topographique non pas à une date précise, mais avec un intervalle de temps assez important et variable d'une zone à une autre. Par conséquent, les dates t_1 , t_2 et t_3 représentent les données topographiques non pas à une date précise mais à une période donnée : à la fin du XVIIIe siècle, à la fin du XIXe siècle respectivement au début du XXIe siècle (voir la Figure 2). Il convient de noter que l'information démographique, quant à elle, a été choisie à des dates les plus proches possible de celles des données topographiques à notre disposition (voir le Tableau 1).

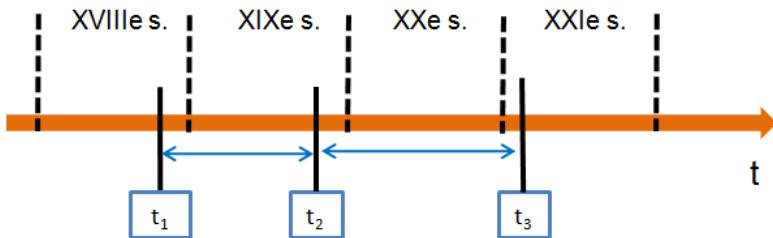


Figure 2. Composante temporelle des données d'étude

Le Tableau 1 et le Tableau 2 illustrent une synthèse des temporalités des données topographiques et démographiques. Rappelons que la variation des dates d'une zone à une autre pour la fin du XVIIIe et la fin du XIXe siècle est due à la réalisation étalement dans le temps des cartes du territoire à ces époques.

Zone	Fin XVIIIe	Fin XIXe	Début XXIe
Grenoble	1777	1897	2011
St-Malo	1789	1895	2011
Reims	1759	1888	2011

Tableau 1. Synthèse des données topographiques analysées (zones et temporalités)

Les données démographiques de notre étude datent de 1793 pour la fin du XVIIIe siècle, 1896 pour la fin du XIXe siècle et 2006 pour le début du XXIe siècle. Les recensements étant effectués la même année, il n'existe pas de décalage temporel entre les différentes zones d'étude.

Zone	Fin XVIIIe	Fin XIXe	Début XXIe
Grenoble, St-Malo Reims	1793	1896	2006

Tableau 2. Synthèse des données démographiques analysées (temporalités)

1.2 Les zones d'étude

La saisie manuelle étant une tâche très longue et fastidieuse, nous avons choisi pour l'analyse des évolutions trois zones représentant un quart de feuille de Cassini. Il s'agit de la zone de Grenoble, la zone de Reims et la zone de St-Malo (voir la Figure 3). Chaque zone est caractérisée par les données topographiques et démographiques à trois époques différentes : la fin du XVIIIe, la fin du XIXe et le début de XXIe siècle.

La zone de Grenoble est une zone montagneuse où le développement du territoire est contraint par le

massif du Vercors. La zone de Reims, quant à elle, est une zone rurale et viticole, de faible altitude, connue pour la production du champagne. Enfin, la zone de St-Malo est une zone côtière, d'habitat dispersé. Il convient de noter que la commune de Saint-Malo ne fait pas partie de la zone.

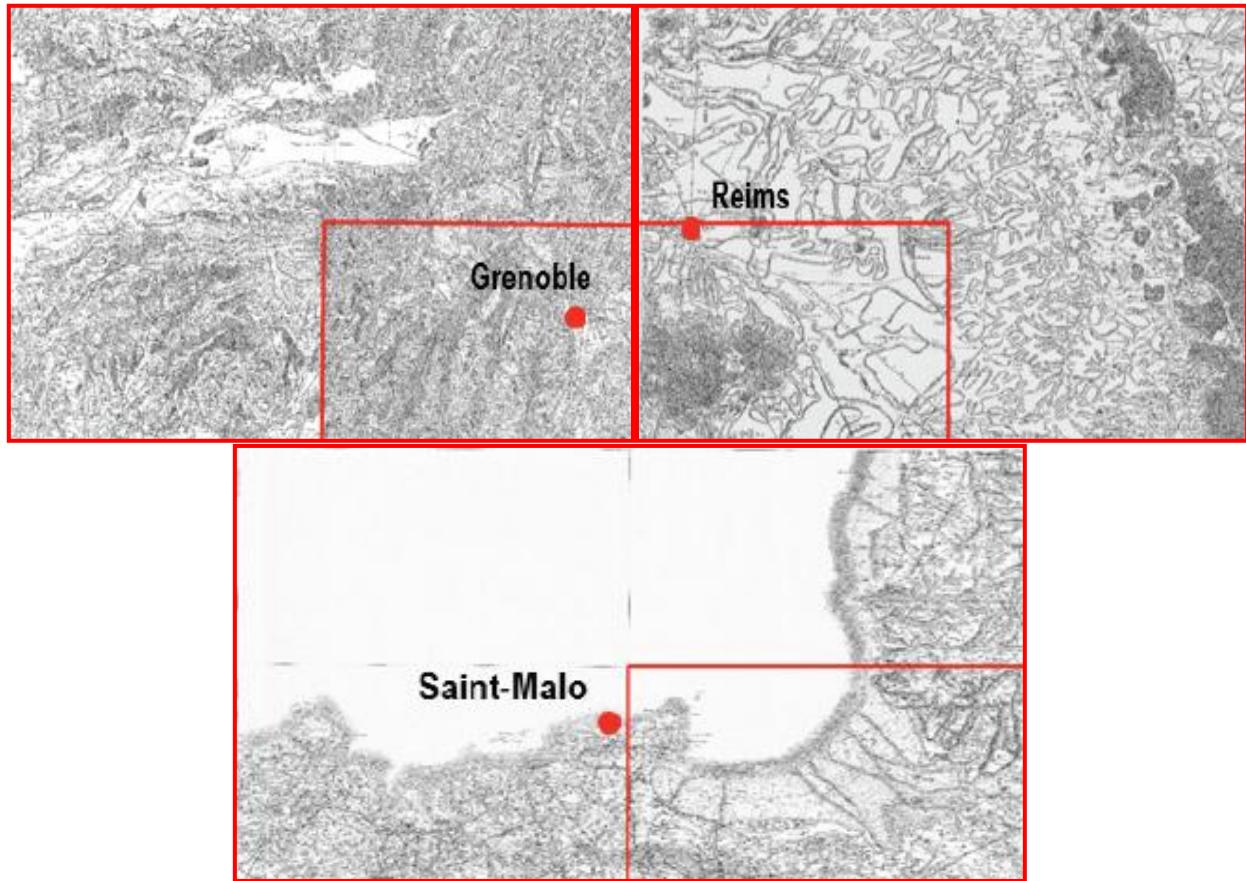


Figure 3. Zones d'études : la zone de Grenoble, la zone de Reims et la zone de St-Malo

1.3 Les indicateurs

Trois types d'indicateurs, exprimés sous forme de densité, ont été construits pour caractériser les communes à différentes dates. Pour plus de détail sur la construction des indicateurs, nous invitons le lecteur à se référer au livrable L 4.2 V1 (Nahassia et Plumejeaud, 2012). Pour rappel, le tableau suivant liste les différents indicateurs définis. A la suite de ce rapport, le terme topographique est utilisé pour désigner l'espace naturel et construit.

Espace construit	Espace naturel	Démographie
surface de tissu urbain	km de cours d'eau naturels	population
habitat dispersé	altitude moyenne	
km de routes	pente moyenne	
routes afférentes		
km de voies ferrées		
voies ferrées afférentes		
km de cours d'eau artificiels		
dessertes ferroviaires		
ponts		
bâtiments industriels		
constructions militaires		
postes		
bâtiments religieux		
églises		

Tableau 3. Synthèse des indicateurs construits et utilisés pour l'analyse

Chaque commune est caractérisée par l'ensemble de ces indicateurs à trois temporalités différentes. Ainsi, les communes et les valeurs des indicateurs représentent nos données d'entrée pour analyser les évolutions du territoire au cours de deux siècles sont stockées sous forme d'une matrice temporelle.

		t ₁		t ₂		t ₃			
		Indice 1	...	Indice n	Indice 1	...	Indice n	Indice 1	...
Communes Zone 1	Commune Z1_1								
	...								
	Commune Z1_n								
Communes Zone 2	Commune Z2_1								
	Commune Z2_n								
Communes Zone 3	Commune Z3_1								
	Commune Z3_n								

Tableau 4. Structure de données d'entrée pour analyser les évolutions des espaces naturels et construits

Le Tableau 4 représente les données d'entrée sous forme matricielle où les lignes et les colonnes de la

matrice temporelle correspondent respectivement aux communes d'étude et aux indicateurs caractérisant chaque commune à chaque date. Etant donné le nombre de zones (3) et le nombre de dates d'études (3), notre matrice temporelle est composée de 3x3 sous-matrices.

2. Méthode d'analyse d'évolutions des données topographiques et démographiques

Comme nous l'avons mentionné en première partie, les indicateurs sont calculés à l'échelle de la commune dans ses limites actuelles.

Analyser les évolutions des communes en fonction de la topographie et de la démographie et identifier d'éventuelles corrélations entre l'évolution de la topographie et l'évolution démographique nécessite d'abord de caractériser ces communes selon ces deux évolutions, de construire la trajectoire de chaque commune et enfin d'analyser les trajectoires et étudier leur corrélation. Mentionnons que la caractérisation des communes a comme objectif de définir les profils des communes et ensuite de classer ces dernières en fonction des profils.

Notre approche d'analyse de l'évolution des données topographiques est composée de trois étapes suivantes :

1. Classification des communes,
2. Définition et analyse des séquences temporelles,
3. Etude des corrélations.

Nous décrivons plus en détail ces étapes, qui serviront de socle pour l'analyse des résultats par zone présentée dans les parties 3, 4 et 5.

2.1 Classification des communes

Les communes sont caractérisées, d'une part, par des indicateurs topographiques exprimés en densité, et d'autre part, par la densité de population de la commune. Ainsi, la classification selon la topographie est différente de celle de la population puisque dans le premier cas nous avons plusieurs indicateurs, alors que dans le deuxième, nous utilisons un seul indicateur, ce qui veut dire que la classification selon la population est en fait une segmentation.

Par conséquent, la segmentation des communes selon la densité de population est réalisée en fixant les mêmes seuils de valeurs quelle que soit l'époque. Le choix des seuils fixes a été dicté par la distribution de la densité de population (dissymétriques à gauche avec beaucoup de valeurs faibles et très peu de valeurs élevées) ainsi que par notre besoin de pouvoir comparer les classes d'une époque à une autre.

La topographie étant exprimée à travers plusieurs indicateurs, une analyse multidimensionnelle s'impose. Notre objectif étant d'effectuer une classification des communes en fonction de différentes caractéristiques topographiques, il est nécessaire d'attribuer une étiquette à chaque classe, c'est-à-dire d'expliquer pourquoi certaines communes sont regroupées dans une même classe et pas d'autres. Pour cela, nous avons réalisé en amont de la classification proprement dite une ré-organisation de l'espace euclidien.

Par conséquent, l'approche de classification des communes que nous proposons consiste à enchaîner deux méthodes statistiques : l'algorithme d'auto-organisation - Cartes de Kohonen (Self Organized Map) -, puis une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

Cartes de Kohonen

Les cartes auto-organisatrices de Kohonen sont fondées sur un réseau de neurones et sur des méthodes d'apprentissage non supervisées. La méthode a été proposée pour la première fois par Kohonen (1982). Depuis leur existence, les cartes de Kohonen ont été appliquées dans leur version plus ou moins originale dans plusieurs domaines tels que la robotique, le traitement d'image (Kohonen, 2001), la mobilité spatiale (Couronné et al., 2011). D'autres versions, revues et adaptées pour modéliser, par exemple, la dimension temporelle et spatiale ont également été proposées ces dernières années (Hagenauer et Helbich, 2013).

Cette méthode nous a paru adaptée à nos données, puisque nous avons un grand nombre de communes et d'indicateurs. Elle permet, entre autres, de rendre visibles les similarités, mais surtout les dissimilarités entre données lorsque les caractéristiques des données sont très comparables d'une commune à une autre, comme les nôtres.

Nous décrivons brièvement dans cette partie le principe théorique de la carte de Kohonen. Pour plus de détails, le lecteur peut se rapporter aux travaux de Kohonen (2001) et Vesanto et al. (2000).

Le modèle de la carte de Kohonen suppose deux espaces indépendants : l'espace des données à classifier et l'espace des représentations (la carte) de dimension réduite. Les noeuds de la carte, nommés neurones, sont disposés géométriquement selon une topologie¹ fixée a priori (voir la Figure 4). L'objectif est de trouver une projection entre les deux espaces qui doit conserver la topologie des données en sachant qu'un noeud possède des coordonnées fixes sur la carte et adaptables dans l'espace d'entrée.

Après l'apprentissage, chaque individu (commune) est associé à un neurone de la carte (le neurone le plus proche de l'individu). Ainsi, un neurone représente un groupe d'individus selon les points communs qui les rassemblent. Enfin, la carte s'auto-organise en vérifiant que chaque neurone se spécialise dans une portion de l'espace d'entrée et que deux entrées qui sont proches dans l'espace d'entrée appartiennent au même neurone ou à deux neurones voisins dans la carte. Dans notre cas, une entrée correspond à une commune.

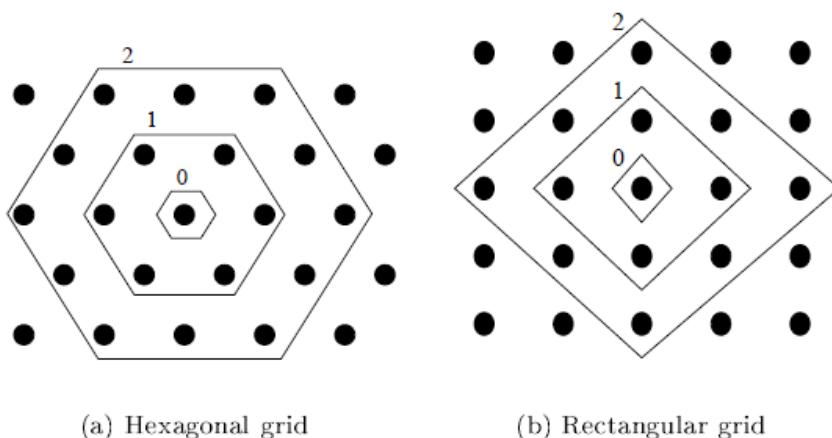


Figure 4. Exemple de topologie (a) hexagonale et (b) rectangulaire de la carte ainsi que le rayon de voisinage d'ordre 0, 1 et 2. (source : Vesanto et al., 2000)

La carte de Kohonen peut être vue comme une extension non linéaire de l'ACP (Analyse en Composantes Principales), mais la répartition des individus peut être davantage uniforme sur la carte de Kohonen en mettant en évidence les dissimilarités entre les individus (voir la Figure 5). Sur la figure de droite, la taille de la cellule hexagonale est proportionnelle au nombre d'individus qu'elle contient, et les couleurs illustrent les similarités et dissimilarités entre les neurones. Les cellules hexagonales ne contenant pas de communes ne sont pas représentées ; cela explique les espaces blancs sur la carte. De plus, nous remarquons que l'ACP est moyennement adaptée dans notre cas puisque les variables ne sont pas bien représentées sur le cercle de corrélation, donc très peu représentatives.

¹ Généralement on utilise une topologie rectangulaire ou hexagonale

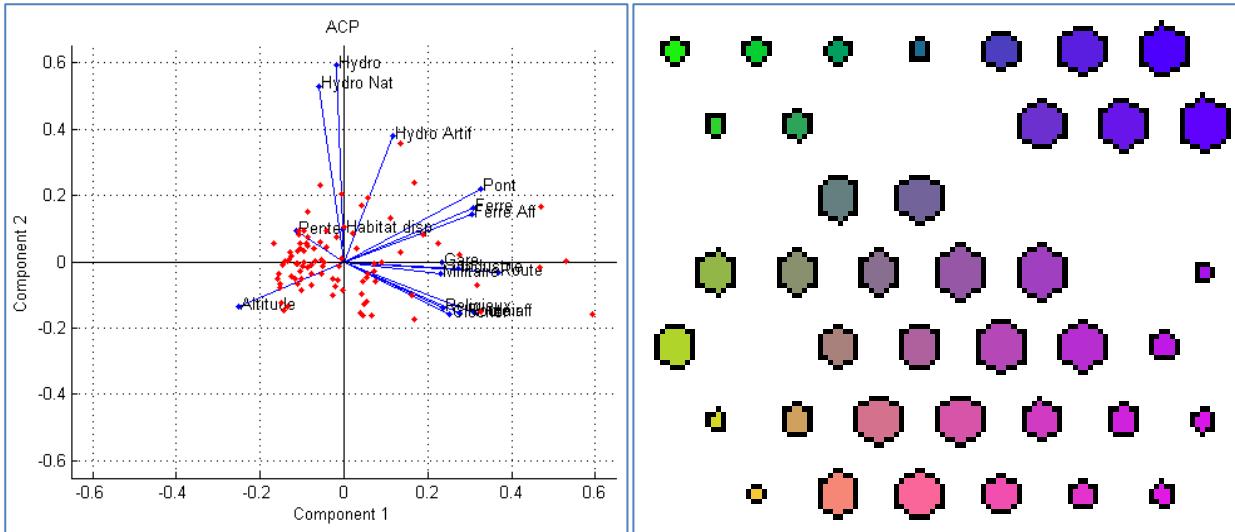


Figure 5. Exemple de représentation des communes de la zone de Grenoble au début du XIXe siècle : sur les deux premiers axes après l'ACP (à gauche) et sur la carte de Kohonen après l'auto-organisation (à droite)

De plus, la carte de Kohonen permet de visualiser les résultats grâce à la matrice U-Matrix, de visualiser les données, ainsi que d'identifier les variables corrélées. La U-Matrix est une matrice de distance, qui représente d'une manière visuelle les distances euclidiennes entre deux cellules voisines.

A titre d'exemple, nous montrons la visualisation de quelques indicateurs et de la matrice des distances sur la zone de Grenoble. La Figure 6 montre à gauche quatre indicateurs topographiques et à droite la matrice des distances entre les cellules voisines de la carte (U-Matrix).

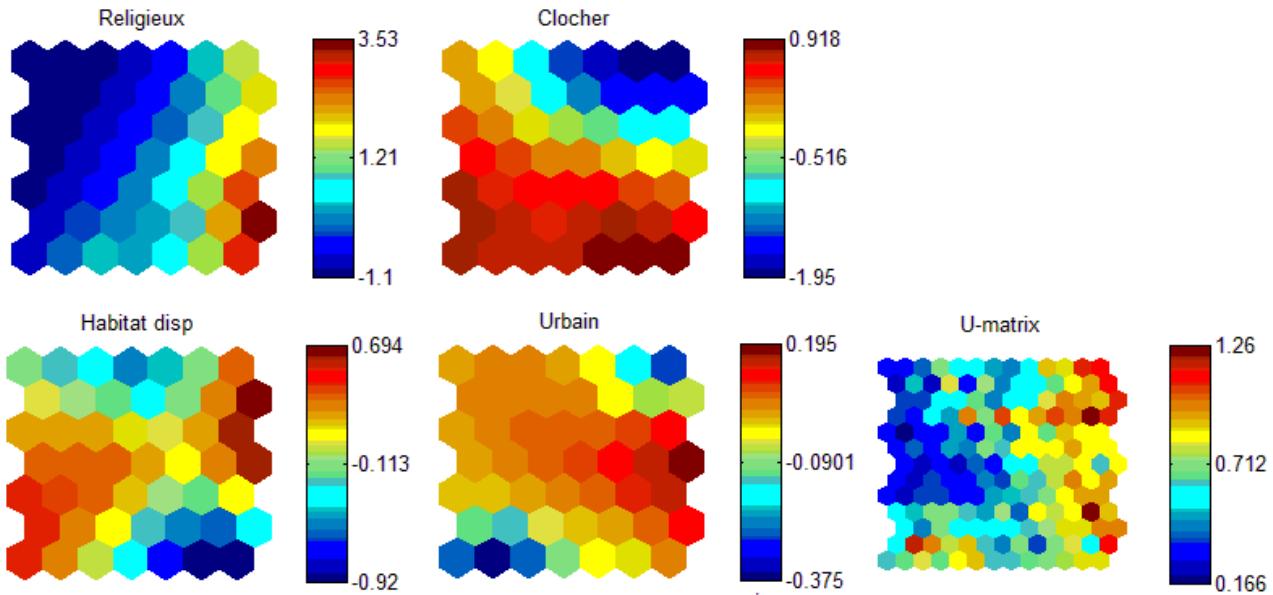


Figure 6. Exemple de visualisation de la carte de Kohonen d'un échantillon de données : les indicateurs et la matrice de distances (U-Matrix)

Dans la matrice de distances (U-Matrix, dans la Figure 6) une couleur rouge indique une zone de frontière, tandis qu'une couleur bleue indique que les distances entre les neurones sont faibles et elle caractérise une zone homogène dans la carte (ensemble de neurones peu différents). Nous remarquons sur la matrice U-Matrix que des cellules supplémentaires ont été rajoutées ; celles-ci correspondent aux différentes paires des cellules voisines de la carte. Les cinq figures sont liées par leur position. Par exemple, la cellule en haut à gauche regroupe une (des) commune(s) ayant des valeurs très basses pour le *religieux*, relativement basses pour *l'habitat dispersé* et relativement élevées pour les indicateurs *clocher* et *urbain*. La matrice des distances montre que cette cellule est proche de ses voisines. La cellule en bas à droite, quant à elle, regroupe des communes ayant des valeurs élevées pour le *religieux* et le *clocher* et des valeurs très faibles

pour l'habitat dispersé et relativement élevées pour l'urbain. Pour la même cellule, l'U-Matrix montre que les cellules voisines sont différentes, donc il y a une rupture importante, voire une frontière. Il convient de noter que dans cet exemple aucune corrélation n'est identifiée.

A titre d'exemple, nous montrons en Figure 7 une représentation de la carte de Kohonen appliquée sur quatre indicateurs caractérisant les communes de la zone de Reims à la fin du XVIII^e siècle.

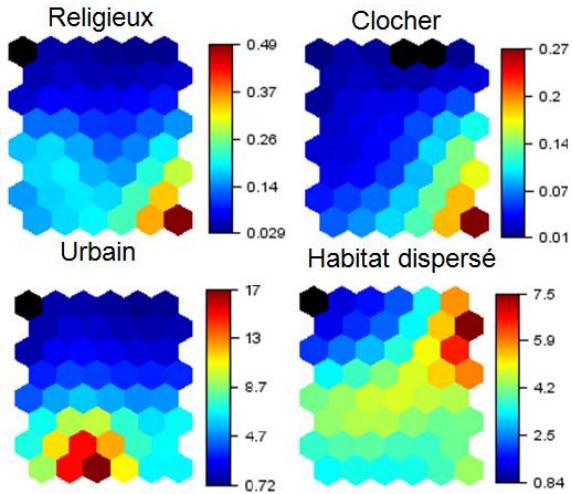


Figure 7. Exemple de visualisation de la carte de Kohonen d'un échantillon d'indicateurs (valeurs non normalisées)

Dans cet exemple, la visualisation des données montre une forte corrélation entre les indicateurs *religieux* et *clocher*, validée également par une corrélation de Pearson (coefficient de corrélation égal à 0,93).

Cette méthode a été appliquée pour l'analyse des trois zones aux trois dates différentes. Nous avons utilisé la SOM Toolbox (V2), développée sous Matlab à des fins de recherche qui propose des fonctions pour créer, visualiser et analyser la carte de Kohonen (Vesanto et al., 2000).

Classification Ascendante Hiérarchique

La classification proprement dite a pour objectif de regrouper les individus par classes en fonction des critères de distance. La partition des matrices basée sur une analyse multidimensionnelle a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, dont une synthèse détaillée est présentée dans (Fusco et Cagliani, 2011). Nous avons choisi d'utiliser une CAH, une méthode classique utilisée en analyse spatiale et réputée comme robuste, le nombre de classes et l'appartenance des individus aux classes ne dépendant pas de l'initialisation des classes. La méthode de classification hiérarchique appliquée à la carte de Kohonen consiste à regrouper au mieux les neurones afin de donner une vision plus globale de la carte. La CAH a été appliquée en utilisant une métrique euclidienne et le critère d'agrégation de Ward. Les clusters coïncident avec les zones homogènes de la carte des distances.

Le dendrogramme produit par l'agrégation successive des neurones forme une arborescence hiérarchique qui est utilisée ensuite pour identifier le niveau d'agrégation qui servira à la création des classes.

Enfin, l'analyse des classes obtenues au regard de leur profil moyen est réalisée en analysant la matrice de distance (U-Matrice) et la visualisation des indicateurs. Les observations voisines dans l'espace des données appartiennent après la classification à la même classe ou à des classes voisines.

2.2 Définition et analyse des séquences temporelles

L'objectif de l'analyse des séquences temporelles est d'identifier et de caractériser différents types d'évolution en réalisant des motifs (patterns). Nous souhaitons par exemple répondre à des questions telles que :

1. Y a-t-il eu des changements ou plutôt une stabilité relative au cours des siècles ?
2. Quels sont les profils des communes ayant connu des changements ou une stabilité relative ?

3. Peut-on voir des phénomènes globaux connus tels que l'exode rural, l'urbanisation ?

L'analyse des évolutions au cours du temps est inspirée des méthodes d'analyse des séquences temporelles (Box et Jenkins, 1970). Deux approches existent : celle qui s'applique à un niveau macro, c'est-à-dire au niveau de la série de données, et celle qui s'applique à un niveau micro, au niveau des individus. L'approche au niveau macro est utilisée surtout dans le cadre des modèles économiques pour analyser l'évolution d'indicateurs économiques. L'approche que nous utilisons est celle de type micro, car elle est adaptée à la comparaison des évolutions de distribution spatialisée entre deux ou plusieurs dates (Pumain et Saint-Julien, 2010). Elle répond tout-à-fait à notre besoin, puisqu'elle permet de caractériser les changements intervenus dans une unité spatiale (dans notre cas la commune) au regard des profils moyens, préalablement générés dans le cadre d'une classification. La trajectoire d'une commune, c'est-à-dire son profil au cours du temps, est donc modélisée par une séquence temporelle.

L'appartenance d'une commune à une classe nous renseigne sur son profil moyen à une époque donnée. Notre objectif est d'identifier si le profil d'une commune à un temps t_1 est le même qu'à un temps t_2 ou s'il a changé, c'est-à-dire que la commune a changé de classe, et si possible de décrire les causalités de changement, voire de stabilité.

La Figure 8 illustre notre approche de définition des séquences temporelles. Supposons qu'une commune A appartient à la classe C_1 à la fois à la fin du XVIII^e, à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. La séquence temporelle construite est : 111. Celle-ci représente un pattern de stabilité, puisque la commune n'a pas changé de profil au cours du temps. En revanche, la commune B appartient à la classe C_1 à la fin du XVIII^e et la fin du XIX^e siècle et à la classe C_3 au début du XX^e siècle. Le pattern de cette commune est : 113, représentant un changement. De la même manière la commune C a connu deux changements puisque son pattern est 421. Il convient de noter que la séquence temporelle est de longueur égale à trois si nous analysons les évolutions sur toute la période et de longueur égale à deux si nous nous intéressons aux évolutions entre deux époques consécutives.

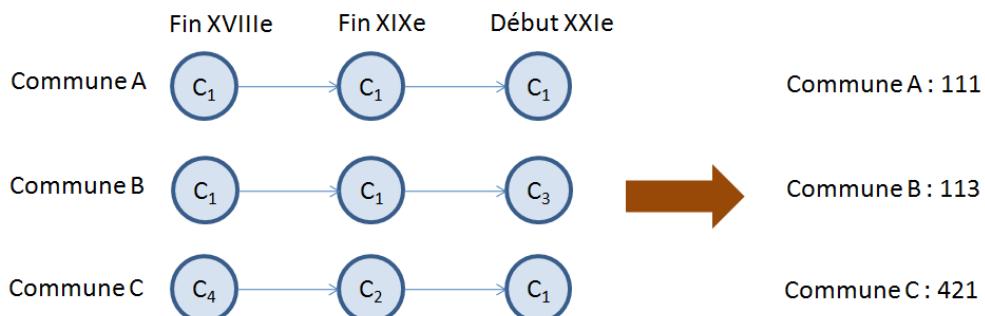


Figure 8. Approche de définition des séquences temporelles

De même que pour la classification, l'analyse des patterns se fait séparément pour la topographie et pour la population. Ainsi, pour chaque commune, nous définissons deux patterns : un premier qui décrit la trajectoire de la commune selon la topographie, et un deuxième qui caractérise la trajectoire de la commune en fonction de son appartenance à une classe de densité de population.

Nous proposons deux types d'analyse : une analyse dite macro ou globale et une analyse dite micro ou locale.

La première analyse que nous proposons est une **analyse globale** qui consiste à analyser les évolutions des patterns sur toute la période d'étude (longueur du pattern égale à trois). Ce type d'analyse permet d'identifier la stabilité voir le changement des communes au cours du temps. Etant donné le nombre important de patterns d'évolution qui peut exister (5^3 possibilités), nous proposons une analyse à une échelle agrégée. Ainsi, nous nous intéressons au sens de l'évolution en considérant deux types d'évolution : une **évolution ascendante** et une **évolution descendante**. L'évolution ascendante peut être interprétée comme une augmentation relative de la densité de l'habitat ou du réseau ferré, tandis que l'évolution descendante est interprétée comme une diminution relative de cette même densité. Il convient de noter qu'une évolution descendante ne veut pas dire que la densification de l'habitat d'une commune a diminué

au temps t_2 par rapport au temps t_1 , mais qu'au temps t_2 , cette commune n'a pas connue en **valeur relative**, la même densification que certaines communes de la même zone à la même date.

La seconde analyse est une **analyse locale** qui consiste à comparer la transition entre deux dates t_i et t_{i+1} . Elle est inspirée des travaux qui ont comme objectif d'analyser les changements dans le domaine de l'occupation des sols (Comber et al., 2005) et s'appuie sur l'analyse des transitions entre deux dates à travers une matrice de transition. Nous cherchons à analyser d'une part les types de transition, d'autre part le nombre de classes franchies. L'identification de différents types de transition permet de mettre en évidence les classes les plus stables, ou les plus instables par exemple, tandis que l'étude du franchissement des classes permet de mesurer la vitesse d'évolution. Plus le nombre de classes franchies est élevé, plus l'évolution ascendante ou descendante est rapide.

Pour les deux types d'analyse, locale et globale, nous proposons une analyse statistique et cartographique.

2.3 Etude des corrélations

Dans cette partie nous nous intéressons à l'évolution démographique, administrative et topographique de nos zones d'études dans le but d'établir des corrélations ou d'éventuelles tendances entre ces évolutions.

Des questions telles que :

- Un changement administratif d'une commune a-t-il eu un effet sur la commune en termes de population ou de la topographie ?
- Pour quelles raisons une commune se développe/ industrialise/ urbanise plus qu'une autre ?
- Il y a-t-il un lien entre l'équipement d'une commune et sa population ? Si oui, quel est le sens de ce lien ? L'accroissement de la population est-elle la conséquence de l'équipement d'une commune ou bien est-ce l'inverse ?

Pour y parvenir, nous nous appuyons de nouveau sur des méthodes statistiques et cartographiques. Etant donnée la nature des données, nous proposons deux méthodes : une méthode qui permet d'étudier la relation entre la topographie et la population, et une deuxième qui étudie la relation entre le changement administratif et la topographie, respectivement la population.

Mise en évidence des relations entre la topographie et la population et entre le changement administratif et la population d'une part et la topographie d'autre part

Chaque commune de notre zone d'étude est caractérisée par trois variables qualitatives décrivant son profil moyen (la classe à laquelle elle appartient) selon les classes de population d'une part, et les classes topographiques d'autre part.

Pour étudier les relations entre les variables qualitatives au niveau des communes, nous avons choisi de réaliser un test d'indépendance de Khi2, avec une significativité de 5%, entre :

- Classification selon la topographie versus classification selon la population
- Présence/absence d'évolution de classe selon la topographie versus présence/absence de changement administratif,
- Présence/absence d'évolution de classe selon la population versus présence/absence de changement administratif.

Il convient de noter que nous proposons d'effectuer le premier test à la fois époque par époque mais aussi sur toute la période. Les deux derniers tests, quant à eux, ont été mis en œuvre sur deux époques consécutives pour comparer si la présence voir l'absence d'une évolution topographique d'une part et démographiques de l'autre est corrélée avec la présence/l'absence d'un changement administratif.

3. Analyse des indicateurs topographiques

Notre approche d'analyse des données historiques basée sur la classification des communes selon deux critères topographique d'une part et démographique d'autre part nécessite une première analyse exploratoire des indicateurs. Nous présentons à titre d'exemple quelques indicateurs.

La Figure 9 illustre la répartition du réseau routier pour les trois zones d'étude de la fin du XVIII^e siècle jusqu'à nos jours. Nous avons calculé la somme cumulée de la densité de réseau routier pour chaque zone (en rouge pour Grenoble, en bleu pour Saint-Malo et en noir pour Reims) et pour chaque époque.

Nous remarquons que le territoire est très hétérogène à la fin du XVIII^e siècle (voir la Figure 9 en haut à gauche) et que cette hétérogénéité caractérise davantage la zone de Grenoble, pour laquelle 100% du réseau routier est défini par seulement 12% des communes. Pour les zones de Reims et Saint-Malo, environ 30% des communes contribuent à cumuler 100% de la densité totale, ce qui montre une moins forte hétérogénéité. À la fin du XIX^e siècle (Figure 9 en haut à droite), nous remarquons une nette homogénéisation du territoire pour les trois zones d'étude, puisque la totalité de la densité de réseau routier est atteinte pour 90% des communes. Cela signifie que le territoire s'équipe, que l'accessibilité s'améliore, seulement 10% des communes n'étant pas desservies par une voie routière importante.

A la fin du XX^e siècle, le même indicateur montre que le territoire redevient hétérogène puisque la barre de 100% est atteinte autour des 30% des communes pour la zone de Grenoble et environ 20% pour les zones de Reims et Saint-Malo. Il convient de noter que cette hétérogénéité est due en partie à la sélection des tronçons de route dans la BDTOPO actuelle, puisque nous avons sélectionné seulement les routes que nous supposons équivalentes aux voies routières cartographiées à la fin des XVIII^e et XIX^e siècle.

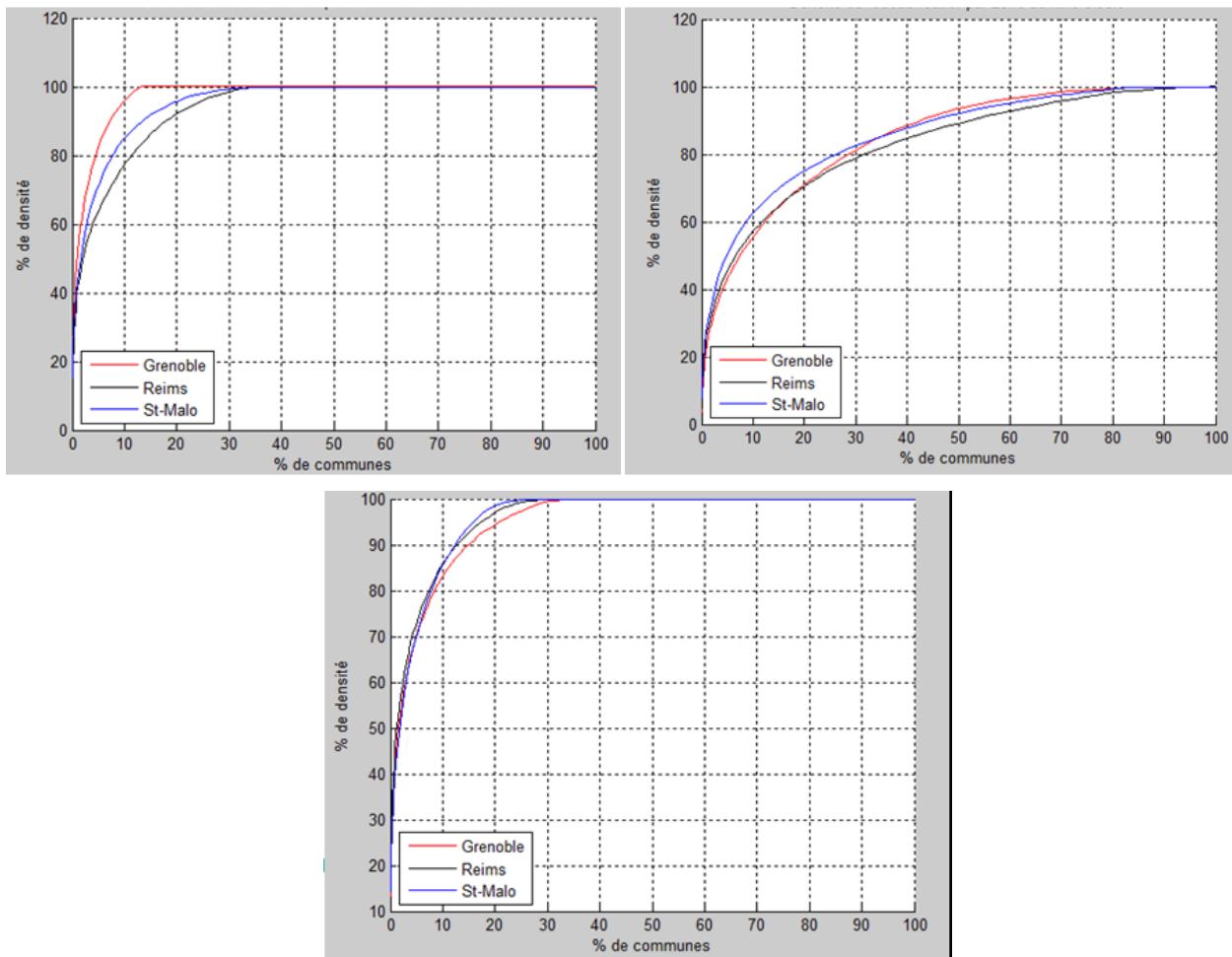


Figure 9. Répartition du réseau routier de la fin du XVIII^e siècle à nos jours : fin du XVIII^e siècle en haut à gauche, fin du XIX^e siècle en haut à droite et début du XX^e siècle en bas

En revanche, le même phénomène n'est pas observé en analysant le réseau ferré. Ce dernier n'existant pas encore à la fin du XVIII^e siècle, la somme cumulée de la densité du réseau ferré a été calculée uniquement pour deux époques : la fin du XIX^e (Figure 10 à gauche) et le début du XX^e siècle (Figure 10 à droite).

La répartition du réseau ferré par zone d'analyse montre que le territoire est hétérogène à la fois à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle avec une faible tendance d'uniformisation pour Reims au début du XX^e siècle, où 20% de communes sont traversées par la voie ferrée. Cette tendance doit être prise avec précautions car ce n'est pas le nombre de km de voie ferrée qui définit l'accessibilité de la commune, mais bien la présence d'une gare ou non. Or, nous avons remarqué que sur le même tracé de voie ferrée, un nombre très importants de gares (haltes) implantées au XIX^e siècle ont disparu au XX^e siècle, signe de la perte d'importance de ces communes qui ne sont plus desservies par des gares.

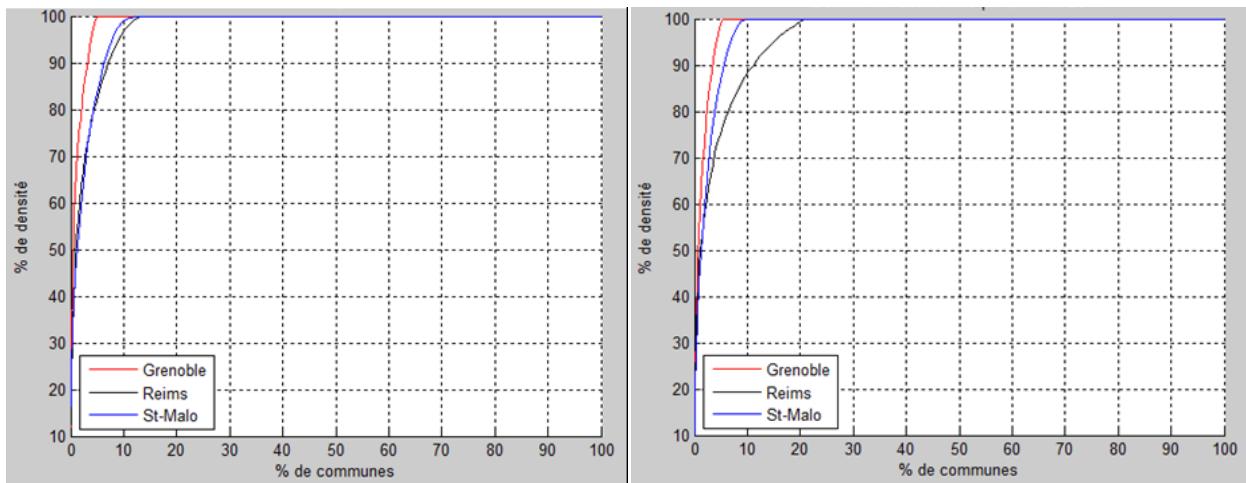


Figure 10. Répartition du réseau ferré de la fin du XIX^e siècle jusqu'à nos jours : fin du XIX^e siècle en haut à gauche, début du XX^e siècle en haut à droite

Nous rappelons qu'il a été démontré dans le livrable L.4.2 – V1 que la distribution des indicateurs aux dates t_1 et t_2 est comparable. Certaines distributions sont dissymétriques à gauche avec beaucoup de valeurs faibles et très peu de valeurs élevées, d'autres sont multimodales avec un fort caractère asymétrique à droite.

Ceci valide la comparabilité des distributions des indicateurs, étape nécessaire pour l'étape de classification et d'interprétation des classes obtenues.

Ajoutons à cette analyse des indicateurs le fait que les couples indicateurs suivants sont souvent corrélés : hydro et hydro naturel, route et route afférente, clocher et religieux, et ceci quelles que soit la date et la zone. De plus, nous avons constaté que les indicateurs : urbain et population sont souvent corrélés, le coefficient de corrélation étant d'environ 0,7.

4. Résultats sur la zone de Grenoble

Les trois sections décrivant les analyses des évolutions sur les trois zones d'études sont construites sur un plan identique : nous décrivons brièvement la zone, puis nous présentons, dans une première sous-section les résultats obtenus à l'issue de l'étape de classification, en distinguant la classification selon la topographie et celle basée sur la population. La deuxième sous-section est consacrée à l'analyse des évolutions. Enfin les analyses des corrélations font l'objet d'une troisième sous-section.

La zone d'étude illustrée en Figure 11, nommée la zone de Grenoble, est une zone montagneuse caractérisée par le Massif du Vercors et les vallées de l'Isère et du Drac. L'emprise de cette zone, incluant la commune de Grenoble, couvre 91 communes, la plupart d'entre elles appartenant au département d'Isère, un département très urbanisé qui connaît une activité industrielle très variée.

Notons que l'infrastructure, les diverses activités industrielles ainsi que la répartition de la population sont contraintes par le relief.

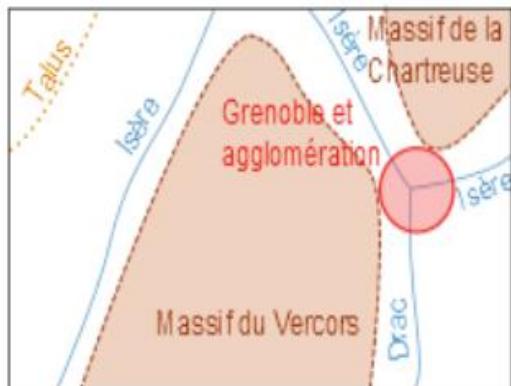
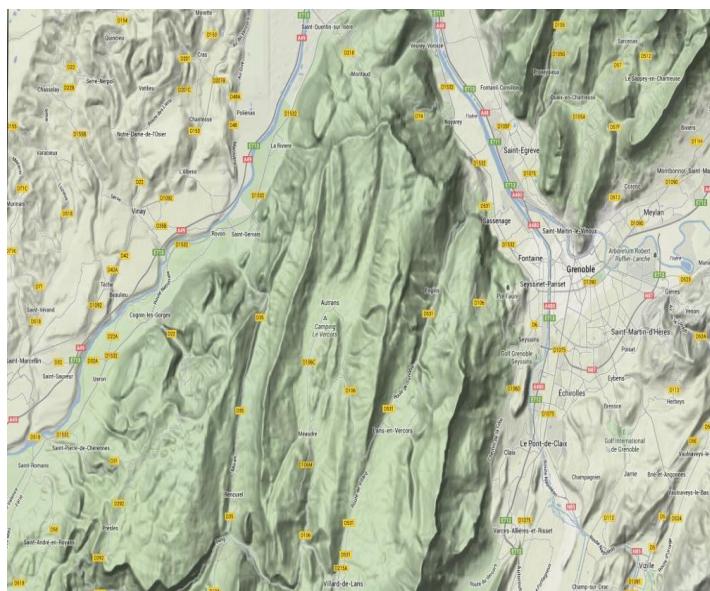


Figure 11. La zone de Grenoble

4.1 Analyse de la classification

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous avons réalisé deux types de classification à chaque époque : une classification en utilisant les indicateurs topographiques et une deuxième en utilisant la densité de population.

Les indicateurs discriminants pour la zone de Grenoble sont l'habitat, le réseau routier, le réseau ferré à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle et le relief.

Nous avons considéré que le réseau ferré et le réseau routier permettent de mesurer l'accessibilité d'une commune, qui peut varier de faible à forte en fonction de la densité du réseau.

4.1.1 Classification des communes selon la topographie ...

...à la fin du XVIII^e siècle

Pour ce premier résultat, nous montrons les cartes de Kohonen et les différentes visualisations qui nous ont aidé à identifier le profil moyen des communes. Les autres résultats ont fait l'objet de la même analyse mais nous ne le détaillons pas. La CAH est appliquée sur la carte des distances (U-Matrix). D'après le dendrogramme illustré en Figure 12, nous retenons une partition en 4 classes qui reproduit l'organisation des espaces exprimée par l'U-Matrix de la carte de Kohonen. Par souci de lisibilité nous montrons, en Figure

13 seulement la matrice des distances obtenus (à gauche), la carte des communes classées par neurone (au milieu) et la carte des clusters (à droite).

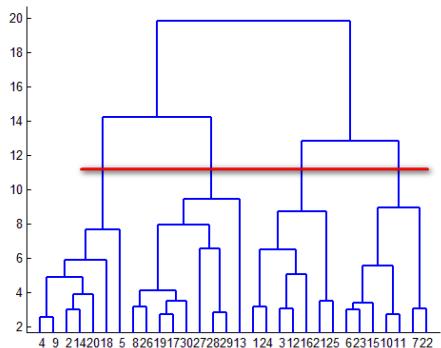


Figure 12. Dendrogramme de la classification des communes sur la zone de Grenoble à la fin du XVIIIe siècle

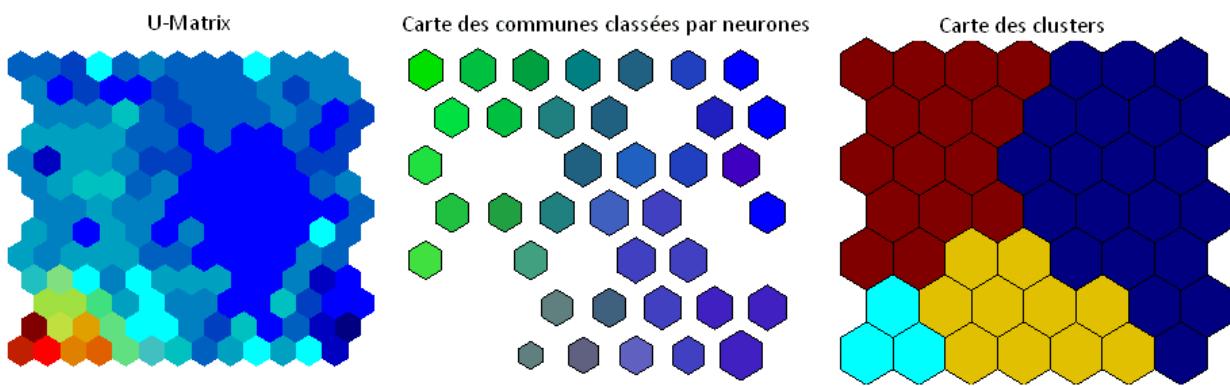


Figure 13. Différentes visualisation de la classification sur la carte de Kohonen

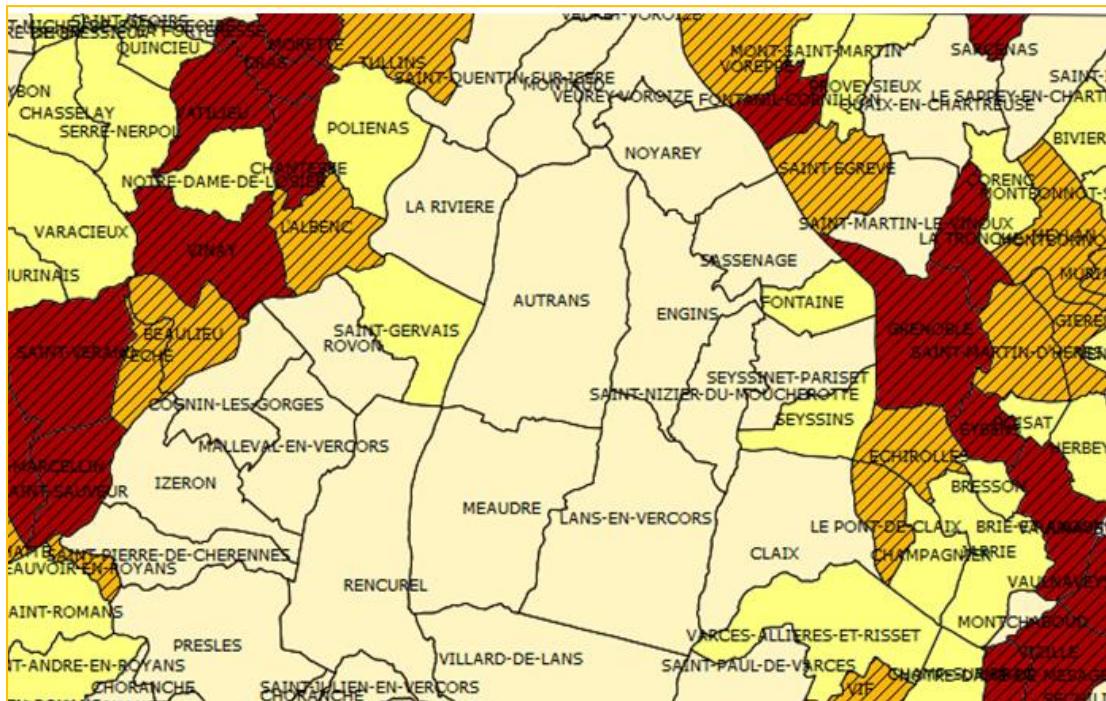
La carte des distances montre des zones assez homogènes au milieu et quelques frontières en bas à gauche. Les classes de communes sont assez bien reparties car la taille des neurones est homogène. La carte des clusters est utilisée pour identifier l'appartenance des communes à une classe.

La répartition spatiale des classes issues de la classification est présentée en Figure 14.

Nous obtenons les classes suivantes :

1. *Classe 1 : Espace rural en altitude.* Cette classe regroupe les communes situées dans le massif du Vercors. Ce sont des communes en altitude avec des valeurs de pente moyenne élevées ayant un profil rural, c'est-à-dire que la densité de l'habitat et l'accès sont très faibles. A la fin du XVIIIe siècle, le Vercors est un monde fermé faute de trafic, très vraisemblablement la plus pauvre parmi les régions naturelles des Alpes du Nord malgré ses ressources forestière et pastorale (Jorré, 1921).
2. *Classe 2 : Espace d'habitat dispersé et d'accès faible.* Cette classe regroupe les communes caractérisées par une densité d'habitat dispersé relativement importante et une présence religieuse marquée. La répartition spatiale montre que ces communes sont localisées au voisinage immédiat des deux vallées ; ce sont des espaces d'altitude moyenne, rapportés à la zone d'étude.
3. *Classe 3 : Espace d'habitat mixte et d'accès moyen.* Les communes regroupées dans cette classe sont des espaces caractérisés par une densité d'habitat mixte et groupé relativement importante. Elles sont également accessibles, étant desservies par un nombre significatif de voies.
4. *Classe 4 : Espace urbanisé et d'accès fort.* La classe 4 regroupe les communes ayant un profil urbanisé : valeurs élevées de la densité de l'habitat groupé et du réseau routier, bien évidemment

relatives à l'époque. Nous remarquons que des noyaux urbains tels que Grenoble, Vinay, Saint-Marcellin existent déjà à la fin du XVIII^e siècle. Malgré le fait que l'hydrographie n'ait pas un rôle discriminant, nous remarquons que les communes urbanisées ou celles d'habitat mixte et d'accès moyen sont les communes qui longent les deux rivières



importantes de la zone : le Drac et l'Isère (voir Figure 15).



Figure 14. Répartition spatiale des classes à la fin du XVIII^e siècle (1770)

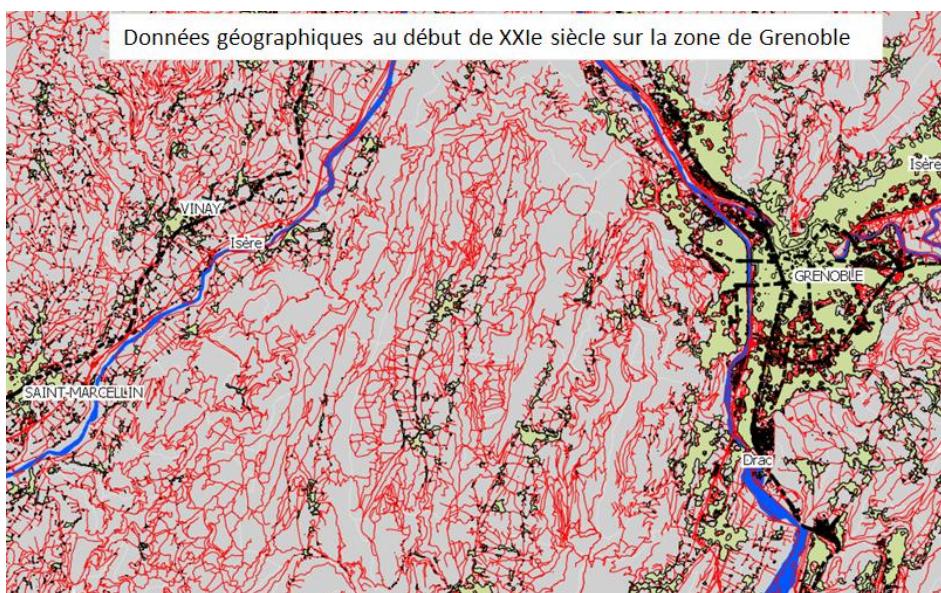
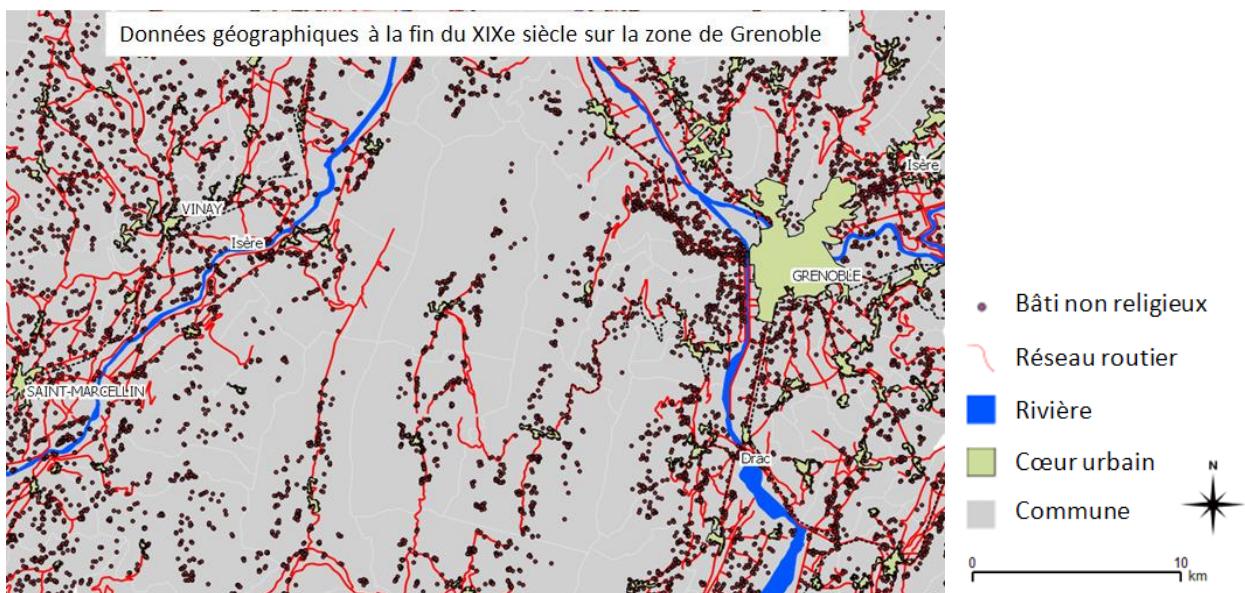
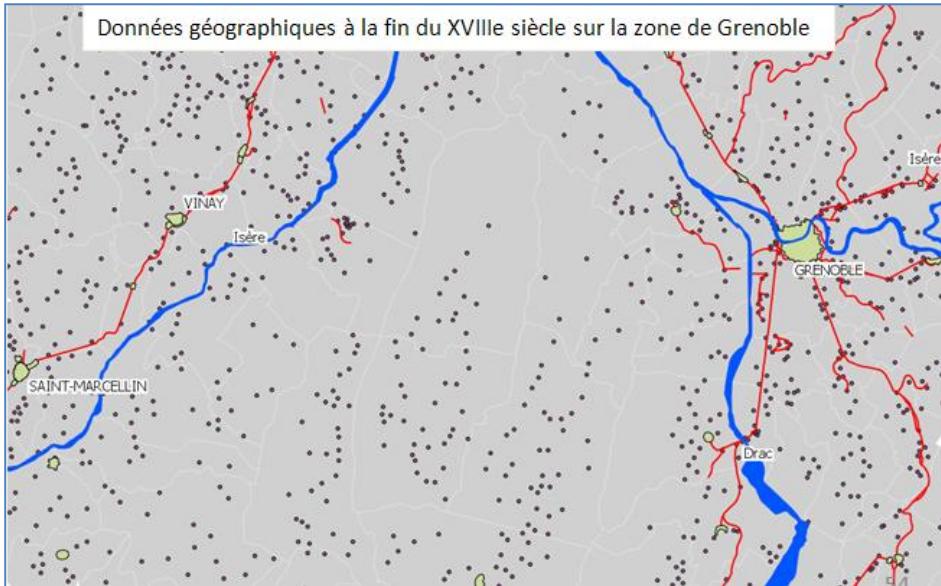


Figure 15. Exemple de données géographiques à la fin du XVIIIe et XIXe siècle et au début du XXIe siècle

...à la fin du XIXe siècle

L'analyse du dendrogramme de la CAH, appliquée sur la matrice de distance U-Matrix, nous indique une répartition en 4 classes. La Figure 16 illustre la répartition spatiale des classes obtenues à la fin du XIX^e siècle.

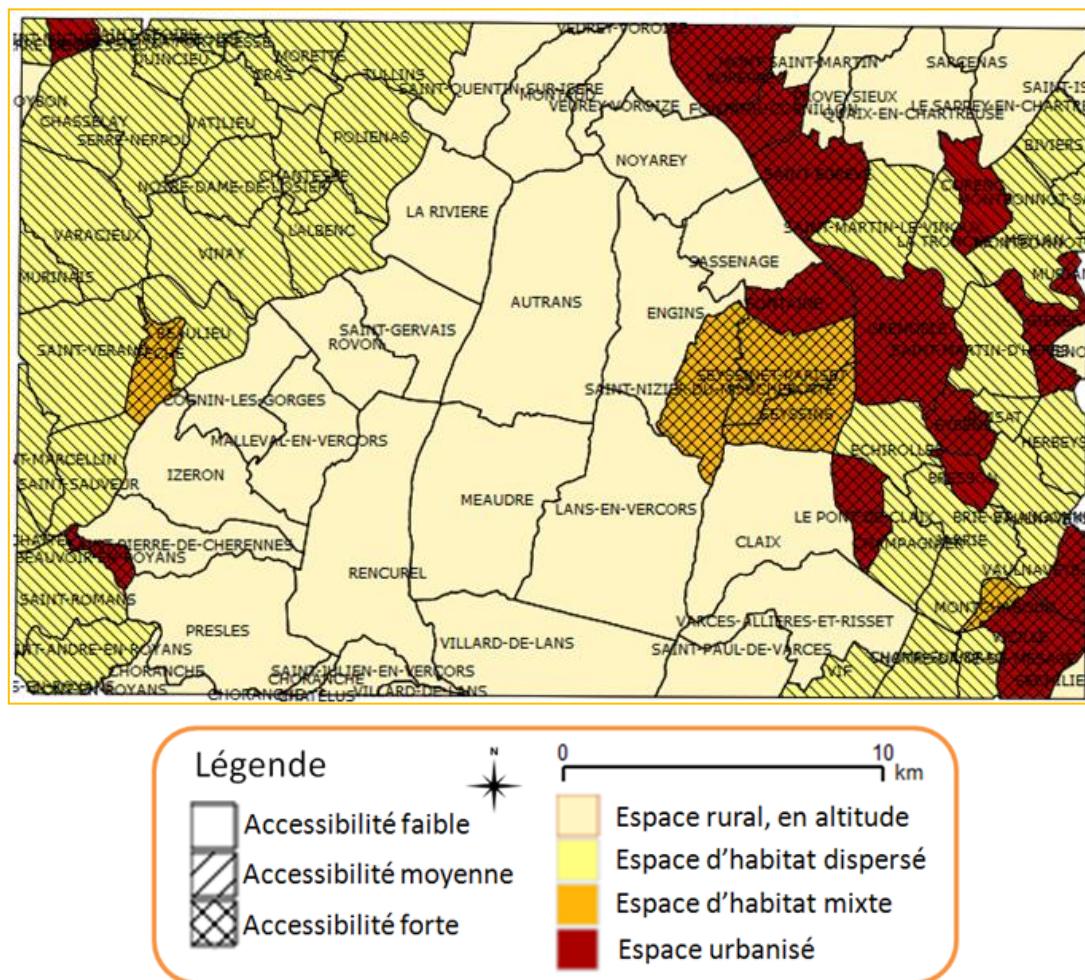


Figure 16. Répartition spatiale des classes à la fin du XIXe siècle(1897)

D'une manière générale, nous remarquons, par rapport à la classification obtenue à la fin du XVIII^e siècle, une homogénéisation du territoire d'un point de vue de l'équipement au XIX^e siècle, qui se traduit par une densification du réseau routier et l'apparition du réseau ferré (voir la Figure 15). Par conséquent, cette densification a un impact sur l'accessibilité de communes. L'augmentation de l'accessibilité concerne les communes situées à l'est et à l'ouest du massif du Vercors d'une part, et les communes localisées dans la vallée de l'Isère d'autre part, dont d'accessibilité passe respectivement de faible à moyenne, et de moyenne à forte (voir la Figure 16).

Classe 1 : Espace rural en altitude. Cette classe regroupe les communes situées en altitude discriminées par les indicateurs caractérisant le relief, à savoir l'altitude et la pente. Elles ont le profil rural, c'est-à-dire que les densités de l'habitat et de l'accès sont très faibles. Nous remarquons dans la Figure 15 que malgré le désenclavement de certaines communes du massif du Vercors grâce à la construction des routes, leur accessibilité reste faible par rapport à d'autres communes de la zone. C'est pour cette raison que l'amélioration de l'accès ne ressort pas dans la classification. Cependant, l'établissement des routes a eu un impact majeur dans le développement de la région, l'exploitation de ses forêts, le développement des ressources pastorales faisant du Vercors une des régions les plus riches des Alpes Françaises à la fin du XIX^e siècle (Jorré, 1921).

Classe 2 : Espace d'habitat dispersé et accessibilité moyenne. Cette classe regroupe les communes

caractérisées par une densité d'habitat dispersé relativement importante et une présence religieuse marquée. Elle peut être considérée comme équivalente à la classe 2 obtenue pour la classification des communes à la fin du XVIII^e siècle, dont l'accessibilité passe de faible à moyenne.

Classe 3 : Classe d'habitat mixte et accessibilité forte. Cette classe regroupe les communes caractérisées par l'habitat dispersé et groupé, bien desservies surtout par le réseau ferré et les gares. A la fin du XIX^e siècle, plusieurs communes à l'est du massif du Vercors sont reliées à Grenoble par les tramways suburbains qui commencent à se développer à partir de 1897 et jusque dans les années 1920, puis qui disparaissent en 1952. Nous montrons dans la Figure 17 le réseau ferré autour de Grenoble, dont les tramways suburbains sont représentés en jaune.

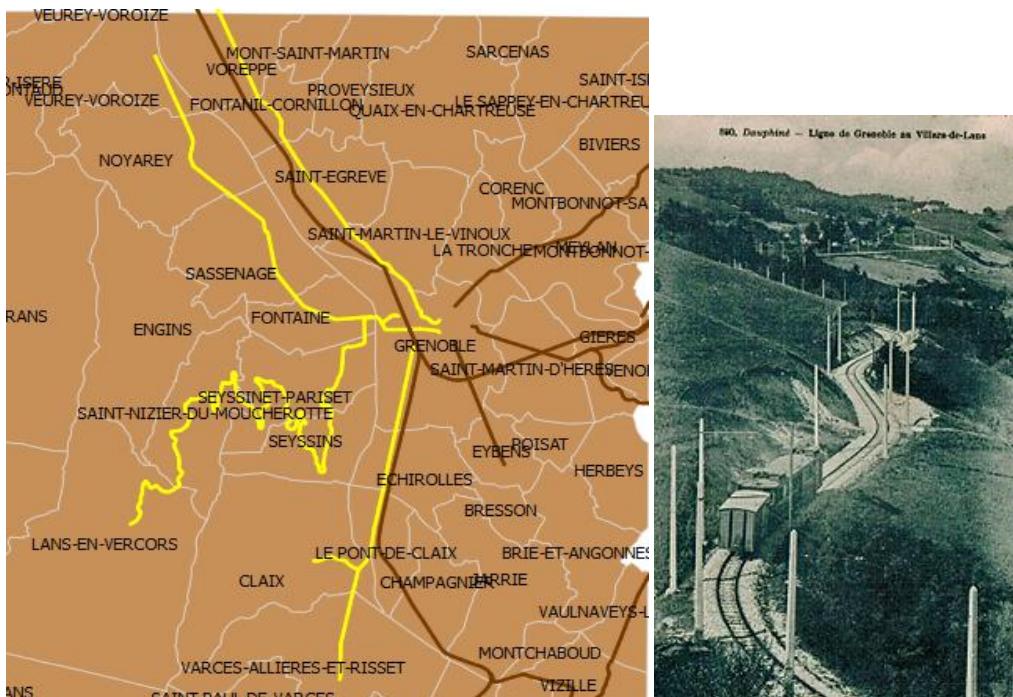


Figure 17. Le réseau ferré autour de Grenoble au XIX^e siècle (à gauche) et le tramway électrique reliant Grenoble à Villard-de-Lans (à droite)

Grenoble est la 18^e ville de France à accueillir le tramway électrique en 1897. La croissance industrielle et démographique n'est pas le seul facteur qui contribue au développement des voies ferrées et des tramways suburbains à la fin du XIX^e siècle. Par exemple, le projet du tramway reliant Grenoble à Villard de Lans, débuté en 1891 et inauguré en 1920, semble être lié à l'origine au tourisme thérapeutique. En effet, au XIX^e siècle, la tuberculose faisait partie de l'univers quotidien des citadins, 20% des décès environ étant dus à cette maladie (AMGSM, 2004). Pour échapper à la contagion, les enfants sont éloignés du foyer familial, envoyés « au bon air », Villard-de-Lans étant un village réputé pour son bon air et son activité touristique thérapeutique. Ainsi, les communes traversées par cette ligne de tramway parsemée de nombreuses gares sont regroupées dans la classe 3. Il convient de noter que sur la carte d'Etat-Major utilisée pour numériser les données pour cette zone, la ligne de tramway s'arrête dans la commune de Lans-en-Vercors, sans doute parce que le tronçon de ligne jusqu'à Villard-de-Lans n'était pas finalisé.

Classe 4 : Espace urbains et accessibilité forte. Cette classe regroupe les communes caractérisées par l'habitat urbain dense et une forte densité du réseau routier et ferré. Ce sont surtout les communes localisées à l'est du massif du Vercors telles que Grenoble, Fontaine, Saint-Egrève, etc.

...au début du XXI^e siècle selon la topographie

L'analyse du dendrogramme de la CAH, appliquée sur la matrice de distance U-Matrix, nous indique une répartition en 5 classes. La Figure 18 illustre la répartition spatiale des classes obtenues au début du XXI^e siècle.

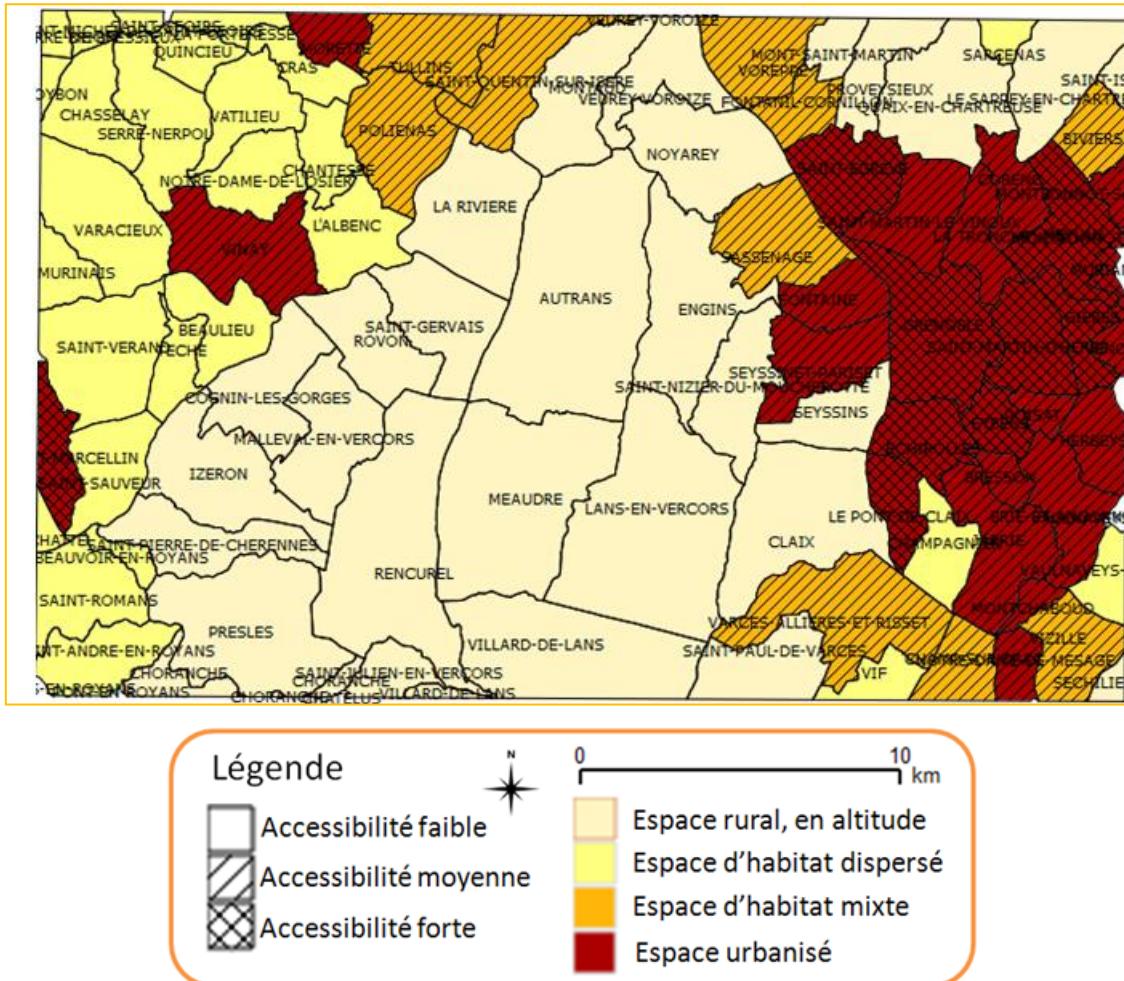


Figure 18. Répartition spatiale des classes selon la topographie au début du XXIe siècle (2011)

Nous obtenons ainsi les cinq classes suivantes :

Classe 1 : Espace rural en altitude et d'accessibilité faible. De la même manière que pour les deux autres classifications, cette classe regroupe les communes ayant un caractère rural en altitude et de pente moyenne élevée, moins bien desservies que les autres communes de la zone d'étude.

Classe 2 : Espace d'habitat dispersé et d'accessibilité faible. Cette classe regroupe les communes caractérisées par une densité d'habitat dispersé relativement importante et d'accessibilité faible. Elle peut être comparée à la classe 2 obtenue pour les classifications au XVIIIe et XIXe siècle. Ces communes présentent une accessibilité moins importante au début du XXIe siècle qu'aux époques précédentes, mais cela ne signifie pas que l'accessibilité de ces communes a diminué au XXIe siècle, mais que par rapport aux communes autour de Grenoble, les communes formant cette classe sont moins accessibles, le réseau ferré étant moins présent (voir la Figure 15).

Classe 3 : Espace d'habitat mixte et accessibilité moyenne. Les communes constituant cette classe sont caractérisées par un habitat mixte et une accessibilité moyenne.

Classe 4 : Espace urbanisé et d'accessibilité moyenne. Certaines communes autour de Grenoble et deux communes dans la vallée de l'Isère à l'ouest du massif du Vercors forment cette quatrième classe. Nous remarquons que pour ces espaces, l'accessibilité en termes de voie ferrée est moins importante pour ces communes que pour les communes de la classe 5 au XXIe siècle.

Classe 5 : Espace urbanisé et d'accessibilité forte. Cette classe regroupe les communes qui forment la métropole de Grenoble. Ces espaces sont très bien desservis par le réseau routier et ferré. On y retrouve la plupart des communes constituant le pôle urbain de Grenoble : Grenoble, Echirolles, Saint-Martin d'Hères, Meylan. Il convient de noter qu'au début du XXIe siècle c'est bien l'urbanisation qui structure l'espace dans

la zone de Grenoble.

4.1.2 Classification des communes selon la population

Comme nous l'avons expliqué précédemment, ce que nous appelons classification selon la population n'est qu'une partition en classes des individus (communes) selon une variable (population).

La distribution des densités de population est dissymétrique et discontinue avec une concentration des données sur les valeurs faibles. Etant donné que nous souhaitons comparer les classifications obtenues au cours du temps, la méthode de discréétisation basée sur les seuils observés nous semble la plus appropriée. Par souci d'analyse d'évolution, nous avons donc choisi les mêmes seuils pour les trois époques (voir le Tableau 5).

	Profil moyen	Seuils Densité de population
Classe 1	Espace de très faible densité, densité de population	<50 hab./km ²
Classe 2	Espace de faible densité	[50-150) hab./ km ²
Classe 3	Espace de densité moyenne	[150-500) hab./ km ²
Classe 4	Espace de forte densité	[500-1500) hab./ km ²
Classe 5	Espace de très forte densité	>=1500 hab./ km ²

Tableau 5. Seuils de densité de population pour la segmentation des communes

Dans la Figure 19 nous remarquons que la zone de Grenoble est peu peuplée, excepté la commune de Grenoble qui se distingue dès la fin du XVIIIe siècle. Les communes ayant une densité inférieure à 50 hab./km² sont les communes des massifs du Vercors et de la Chartreuse. Les communes de densité faible (classe 2) sont les communes qui bordent ou sont traversées par une grande rivière, ce qui montre l'importance de l'hydrographie au XVIIIe siècle, la proximité d'un fleuve étant en dehors de la nécessité d'accéder à des ressources en eau, une source de développement économique : agriculture, pêche, industrie ; et si les fleuves sont navigables, le fleuve peut servir au transport de marchandises et de personnes.

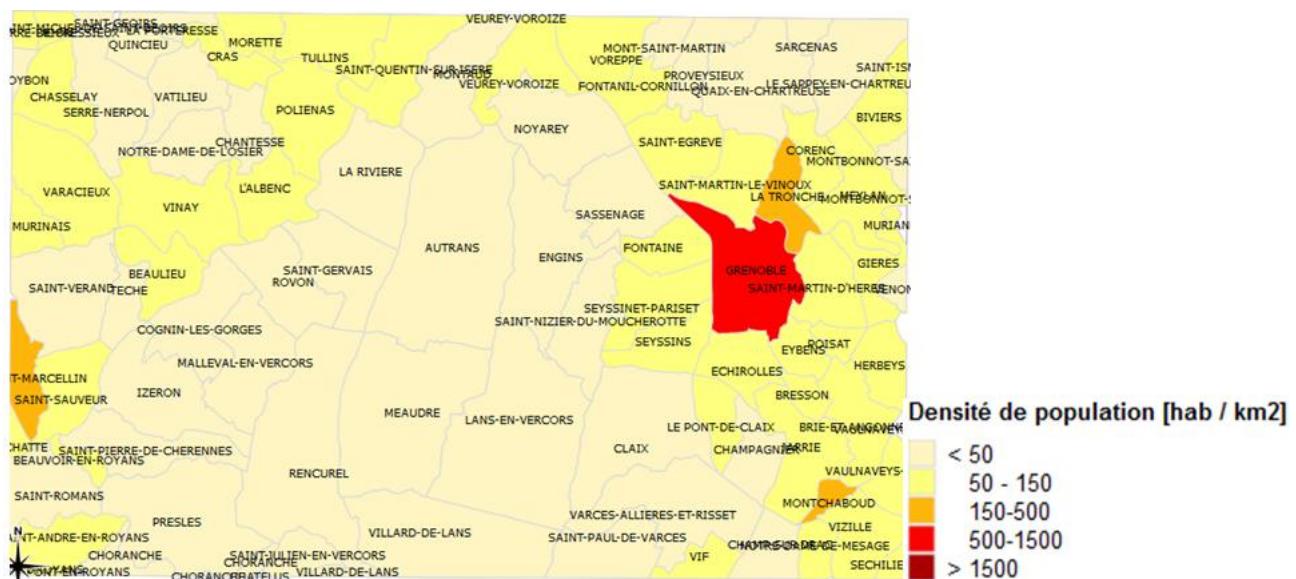


Figure 19. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XVIIIe siècle

Nous remarquons qu'à la fin du XIXe siècle la commune de Grenoble reste la plus peuplée de la zone, ayant une densité de population de 3253 hab./km². Les communes autour de Grenoble connaissent, elles aussi,

une densification de la population, plutôt lente, certaines ayant une densité de la population autour de la densité moyenne de la zone (classe 2), d'autres une densité comprise entre 50 et 150 hab./km².

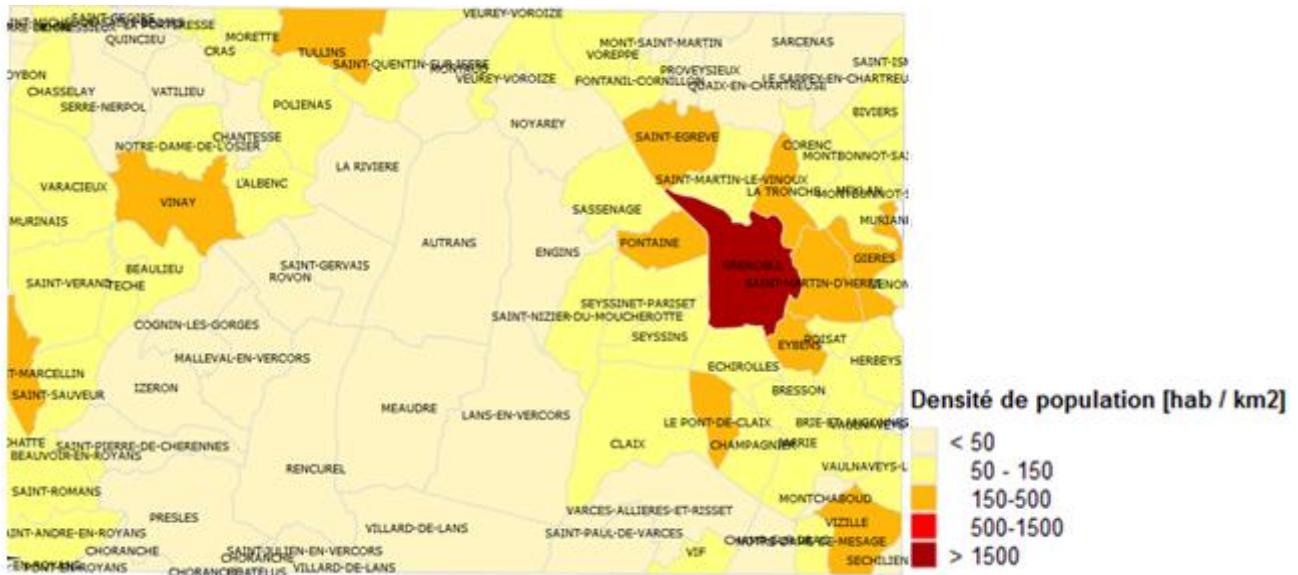


Figure 20. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XIXe siècle (1891)

La classification au début du XXIe siècle est, quant à elle, marquée par une forte croissance de la densité de population à l'est du massif du Vercors, créant ainsi une auréole périurbaine autour de Grenoble. A l'ouest du massif du Vercors quelques communes se distinguent, telles que Saint-Marcellin, Vinay, Saint-Sauveur et Tullins.

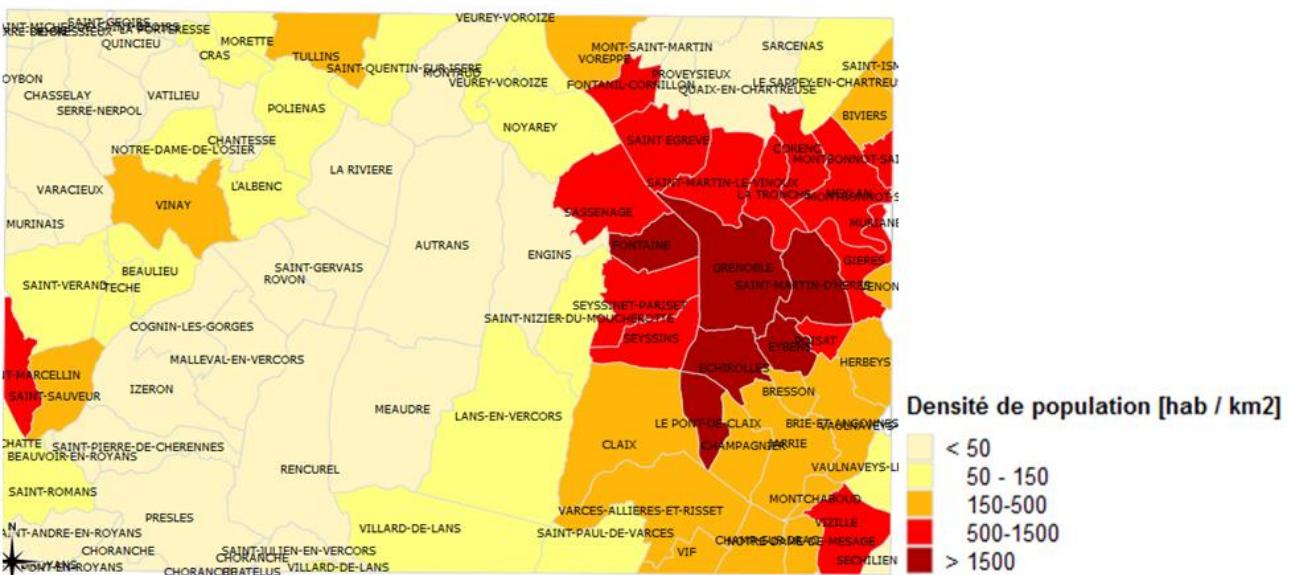


Figure 21. Répartition de la classification des communes selon la population au début du XXIe siècle (2006)

Conclusion sur la classification

D'une manière générale, la classification selon la topographie à la fin du XVIIIe siècle montre d'une part un territoire assez hétérogène dans les vallées de l'Isère et de Drac, et d'autre part des espaces très enclavés dans les massifs du Vercors et de la Chartreuse. Ainsi, des noyaux urbains commencent à émerger dès la fin du XVIIIe siècle, certains d'entre eux sont restés des bourgs ruraux ou ont régressé au rang de simples villages, d'autres se sont développés devant des agglomérations urbaines. Nous remarquons à la fin du XIXe siècle une densification des réseaux à l'est et à l'ouest du massif du Vercors, et une urbanisation de la commune de Grenoble et des communes situées au long de l'Isère et du Drac. Cette urbanisation et densification du réseau routier est amplifiée et se concentre davantage autour de Grenoble, accentuant ainsi, au début du XXIe siècle, un déséquilibre entre les deux vallées séparées par le Vercors.

La classification selon la population montre un peuplement de la population beaucoup plus important dans les vallées de l'Isère et du Drac et à l'est du massif du Vercors, et moins marqué pour quelques communes du massif du Vercors. Notons que certaines communes au nord-ouest du massif du Vercors connaissent un faible dépeuplement. De la même manière que la topographie, la répartition de la population en classes de densité de valeurs fait émerger, elle aussi, un déséquilibre, certes moins marqué, entre les deux vallées séparées par le Vercors.

4.1.3 Mise en évidence des phénomènes locaux

La spatialisation de l'analyse des données historiques permet de mettre en évidence des phénomènes locaux, c'est-à-dire des espaces qui ont des profils ou des évolutions différentes des espaces voisins. Ce type de phénomène n'aurait sûrement pas été remarqué si seule une analyse statistique avait été mise en œuvre. En regardant les répartitions de différentes classifications, nous remarquons plusieurs phénomènes locaux tels que les communes de Vinay, Saint-Marcellin, Vizille.

A titre d'exemple, la Figure 22 met en évidence que la commune de Vinay possède un profil et une évolution différente des communes voisines. Ainsi, elle représente un noyau urbain important au XVIII^e siècle, perd son importance à la fin du XIX^e siècle et redevient une commune avec un centre urbain et accessible au début du XX^e siècle.

La classification selon la densité de population montre elle aussi une commune qui se peuple à partir du XIX^e siècle, phénomène qui n'est pas observé autour des communes voisines. Ainsi, on peut se poser la question : que s'est-il passé à Vinay? En faisant des recherches, nous apprenons par exemple que la commune de Vinay est au cœur de la plus grande noyeraie d'Europe (AOC Noix de Grenoble), ce qui pourrait expliquer son importance dès la fin du XVIII^e siècle ou le fait qu'elle est desservie, via un échangeur, par l'autoroute A49 qui relie Romans (Valence) à Grenoble (www.vinay.fr).

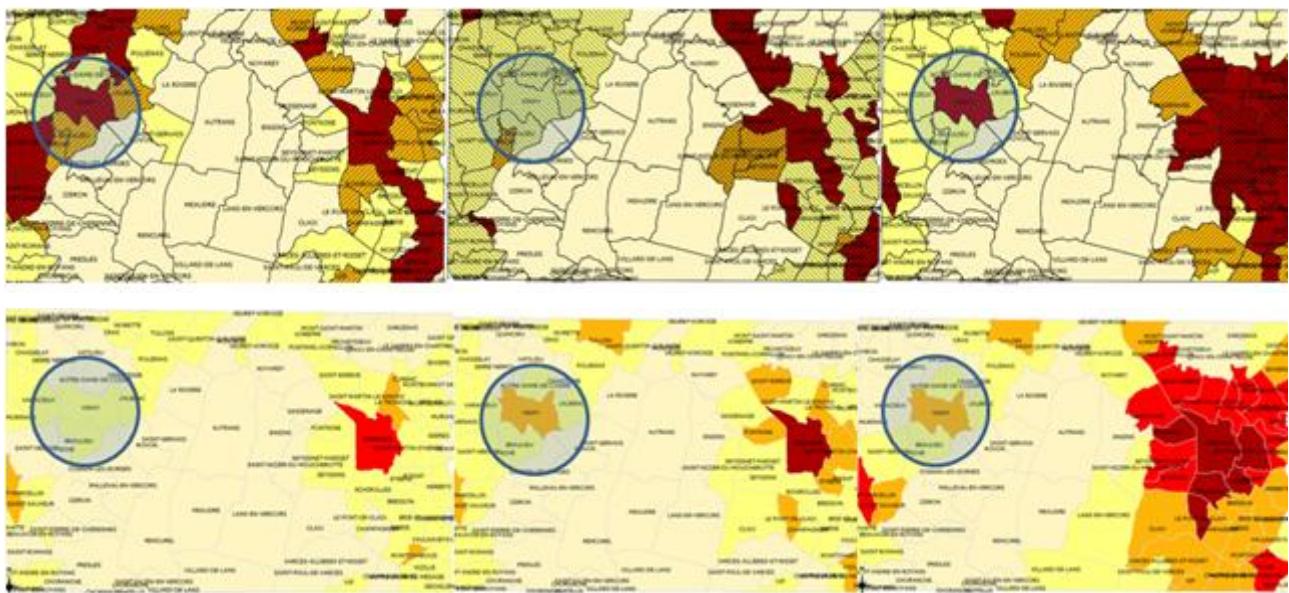


Figure 22. Exemple d'un phénomène local sur la zone de Grenoble : la commune de Vinay ; répartitions des classes pour chaque époque (fin du XVIII^e à gauche, fin du XIX^e au milieu, début du XX^e à droite) et pour chaque type d'information (la topographie en haut et la population en bas)

4.2 Analyse des évolutions

L'appartenance d'une commune à une classe nous renseigne sur son profil à une époque donnée. Notre objectif est d'identifier si le profil d'une commune à un temps t_1 est le même qu'à un temps t_2 ou s'il a changé, c'est-à-dire que la commune a changé de classe, et s'il est possible de décrire les causalités de changement, voire de stabilité.

Comme nous l'avons expliqué dans la partie 2, l'analyse de l'évolution des communes au cours des deux derniers siècles s'appuie sur des méthodes issues de l'analyse des séquences. Nous étudions d'une part l'évolution des communes du point de vue de la topographie, et d'autre part du point de vue de la

population, enfin nous analysons les deux évolutions afin d'identifier des corrélations potentielles. Ainsi, pour chaque commune, nous définissons deux patterns : un premier qui décrit la trajectoire de la commune selon la topographie et un deuxième caractérisant la trajectoire de la commune en fonction de son appartenance à une classe de densité de population.

4.2.1 Evolution de la distribution de communes par classe ...

... selon la topographie

Pour les trois époques analysées à savoir la fin du XVIII^e, XIX^e et le début du XX^e siècle, les communes de la zone de Grenoble sont regroupées en quatre respectivement cinq classes. La distribution de communes par classe et par époque est présentée en Figure 23.

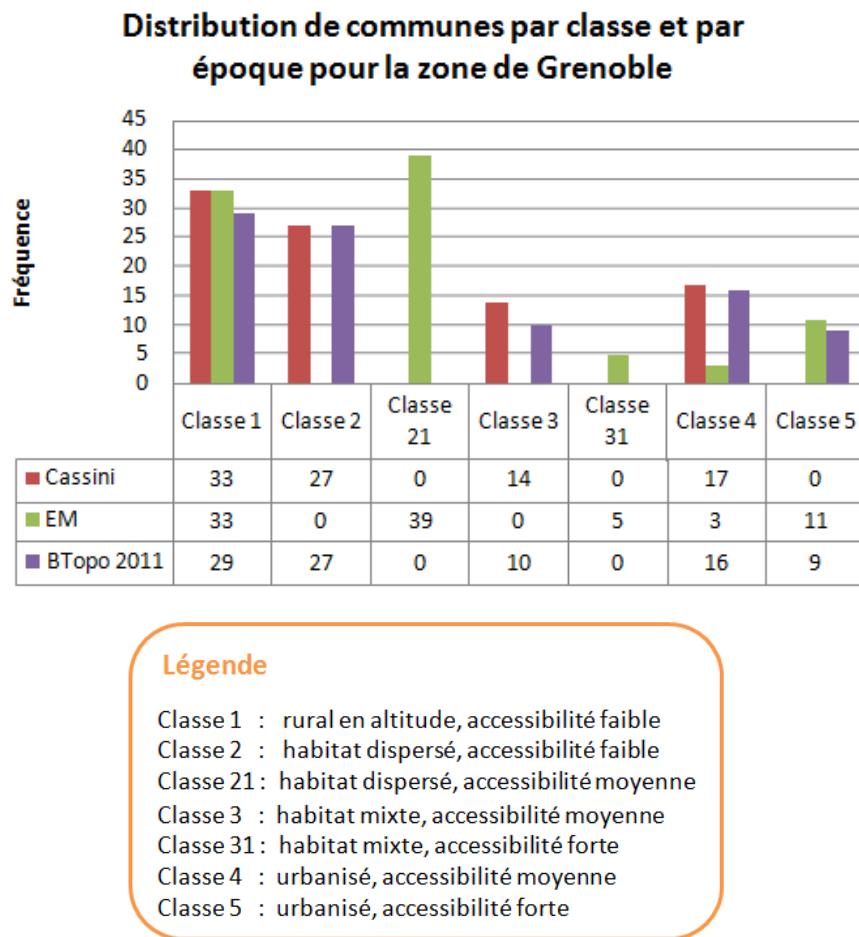


Figure 23. Distribution de communes par classe et par époque pour la classification selon les indices topographiques

Nous remarquons que la classe 1 contient plus de 30% de communes quelle que soit l'époque et reste relativement stable en termes d'effectif.

Les classes 21 et 31 n'ont pas d'instance au XVIII^e siècle, tandis que les classes 2 et 3 n'en ont pas au XIX^e siècle. Du point de vue de l'habitat, les classes 2 et 21 (respectivement 3 et 31) ont le même profil, à savoir habitat dispersé (resp. habitat mixte) ; la différence étant l'accessibilité : accessibilité faible (resp. moyenne) pour l'habitat dispersé et accessibilité moyenne (resp. forte) pour l'habitat mixte. Ainsi, malgré la différence en termes de densification du réseau ferré et/ou routier, par souci de simplification et afin de réduire le nombre de transitions possibles, nous attribuons aux classes 21 (habitat dispersé et accessibilité moyenne) et 31 (habitat mixte et accessibilité forte), instanciées seulement à la fin du XIX^e siècle, les étiquettes classe 2 et 3. Elles sont donc considérées équivalentes aux classes 2 et 3 obtenues à la fin du XVIII^e et au début du XX^e siècle.

Les effectifs des classes 3 (habitat mixte et accessibilité moyenne) et 4 (urbanisé et accessibilité moyenne) restent relativement stables à la fin du XVIII^e siècle et au début du XX^e siècle, ce qui confirme le premier

résultat de l'analyse des indicateurs qui montre un territoire assez hétérogène pour ces deux époques.

Notons que la classe 5, qui regroupe les communes urbanisées et fortement accessibles, n'a pas d'instance à la fin du XVIII^e siècle.

L'analyse de la distribution des effectifs par classe met en évidence l'effet du développement des infrastructures sur le territoire à la fin du XIX^e siècle et la densification des communes en termes d'habitat, et de réseau routier et ferré.

... selon la population

Nous montrons maintenant l'évolution de la distribution des classes selon la population.

La Figure 24 montre la distribution de communes par classe et par époque obtenue en utilisant la densité de population et les seuils définis ci-dessus pour la zone de Grenoble.

Nous remarquons qu'à la fin du XVIII^e et XIX^e siècle, la zone de Grenoble est faiblement peuplée et homogène, plus de 85% des communes appartenant aux classes 1 et 2. La classification au début du XXI^e, quant à elle, montre un territoire plus hétérogène avec davantage de communes peuplées.

Plus particulièrement, la classe 4 (resp. classe 5) n'a pas d'instance à la fin du XVIII^e siècle (resp. à la fin du XIX^e siècle), ce qui illustre le faible peuplement de notre zone d'étude. Si la classe 1, regroupant les communes situées dans le massif du Vercors (voir les figures : Figure 19, Figure 20 et Figure 21) reste relativement stable au cours des trois époques, en termes de nombre d'instances, la classe 2 quant à elle, a une fréquence constante aux XVIII^e et XIX^e siècles et voit sa fréquence diminuer de plus 50% au début du XXI^e siècle. Ceci montre bien le phénomène du peuplement des communes.

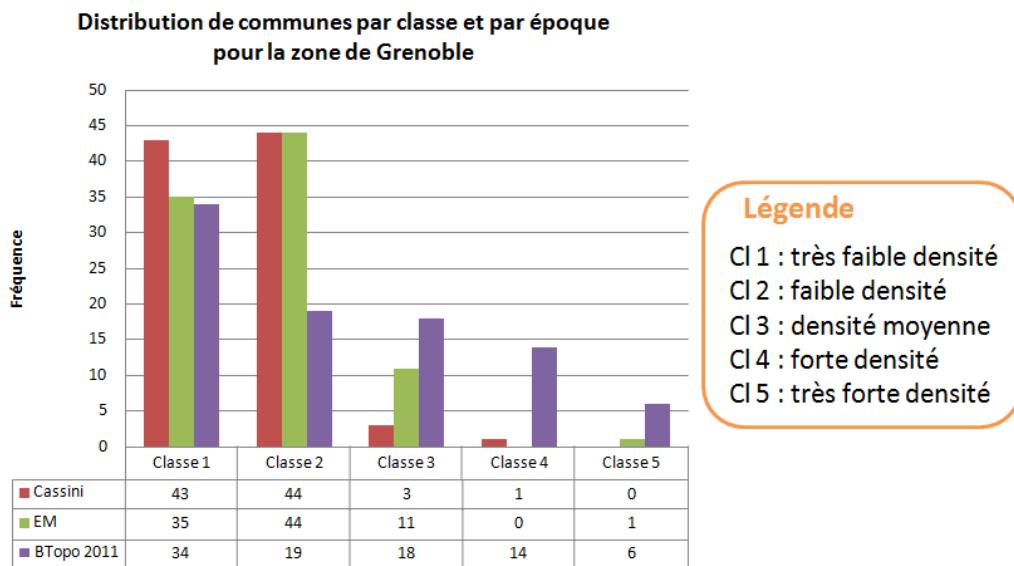


Figure 24. Distribution de communes par classe et par époque pour la classification selon la population

Nous proposons deux types d'analyse : une analyse globale à l'échelle des trois époques/dates considérées dont la longueur du pattern est égale à trois, et une analyse à l'échelle de deux époques /dates consécutives dont la longueur du pattern est égale à deux.

4.2.2 Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités...

...selon la topographie

La trajectoire de chaque commune, que nous avons appelé pattern d'évolution, est définie par la succession des profils de la commune aux trois époques d'analyse.

Fréquence des patterns d'évolution topographique -trois temporalités -

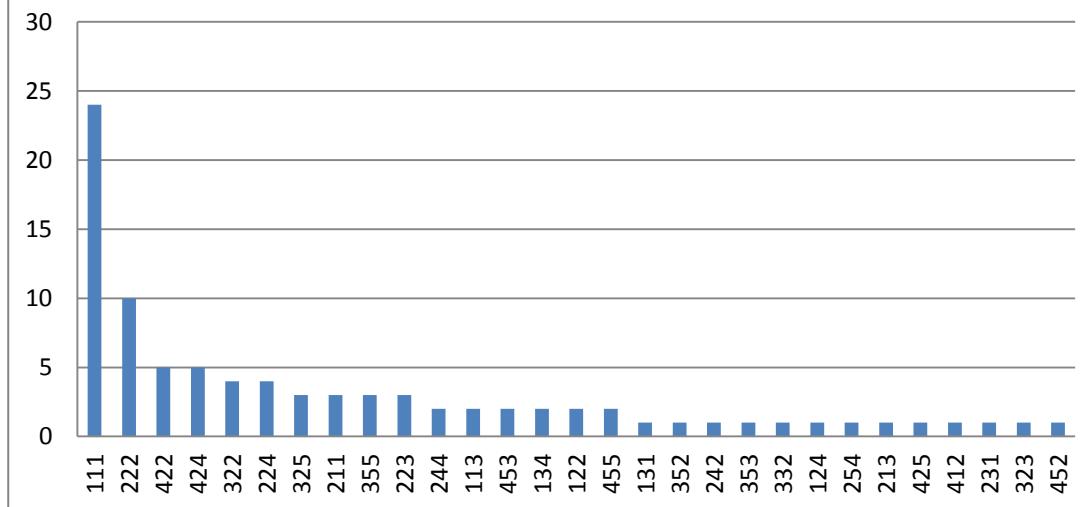


Figure 25. Fréquence des patterns d'évolution entre la fin du XVIIIe et le début du XXIe sur la zone de Grenoble

La Figure 25 permet d'identifier 31 types de patterns sur l'ensemble de la période d'étude dont deux patterns stables ('111' et '222') et 29 patterns évolutifs. Les patterns stables caractérisent respectivement les communes ayant un profil « rural, en altitude et accessibilité faible », et les communes ayant un profil « d'habitat dispersé et accessibilité faible ».

Ces résultats statistiques nous conduisent à une première cartographie des patterns stables (Figure 26).

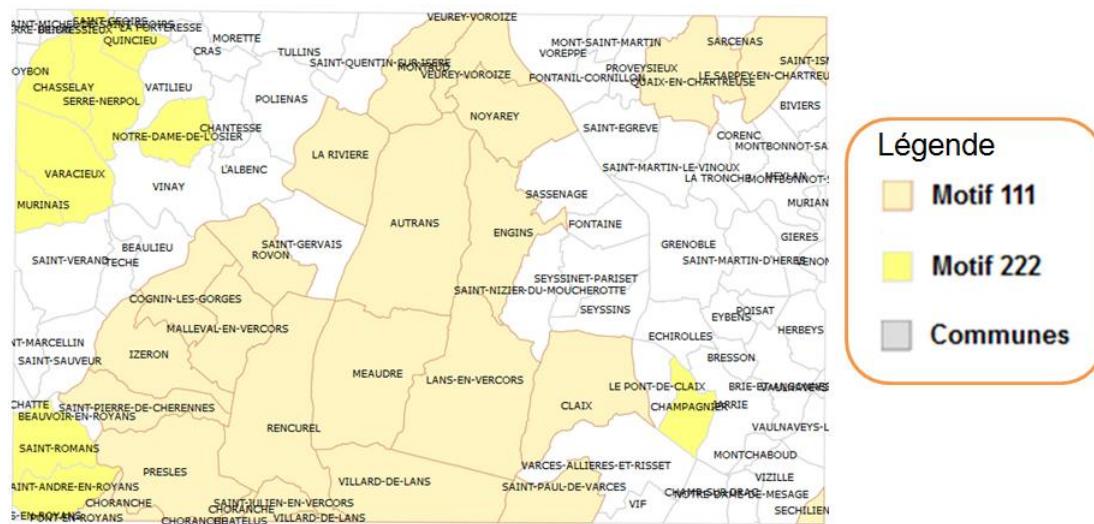


Figure 26. Répartition spatiale des patterns stables entre la fin du XVIIIe et le début du XXIe

Nous remarquons que pour la zone de Grenoble, les communes qui ont un profil stable pendant toute la période d'étude sont les communes situées dans le massif du Vercors et le massif de la Chartreuse (pattern '111'), et celles situées au Nord-Ouest et au Sud-Ouest du massif du Vercors (pattern '222'). L'évolution des communes du massif du Vercors est donc contrainte par le relief caractérisé par des altitudes et des valeurs de pente moyenne élevées.

L'agrégation des patterns en fonction de leur stabilité et leur évolution ascendante ou descendante nous conduit à une deuxième typologie de patterns, dont nous présentons la distribution en Figure 27. Les notions de stabilité, d'évolution ascendante et d'évolution descendante sont représentées respectivement par des diagrammes verts, rouges, et bleus.

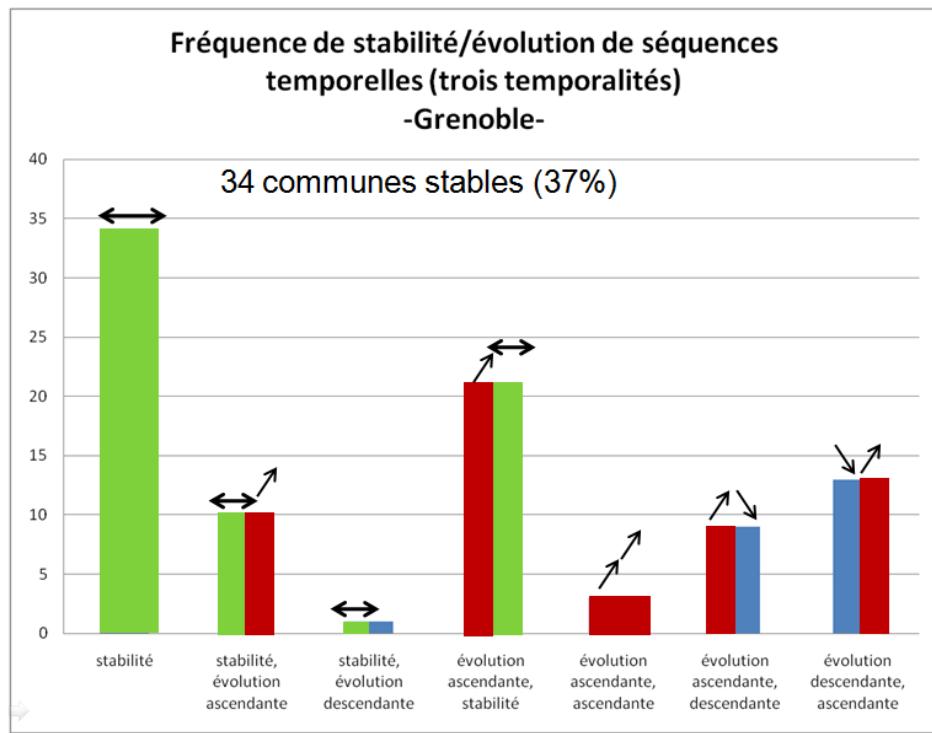


Figure 27. Distribution des typologies de patterns agrégés entre la fin du XVIIIe et le début du XXIe

La répartition spatiale des typologies de patterns agrégés est représentée d'une part dans la Figure 28 où nous représentons par une gamme de couleurs chaudes, les communes qui ont connu un gain relatif et d'autre part en Figure 29, qui cartographie par une gamme de couleurs froides les communes ayant connu une perte relative, surtout à la fin de notre période d'étude.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le pattern le plus important (37% des communes) est celui qui représente la stabilité, c'est-à-dire que les communes ne changent pas de profil aux cours des deux siècles d'analyse. Nous considérons deux familles de patterns : d'une part ceux qui représentent un 'gain' en relatif soit à la fin du XIXe siècle soit au début du XXIe siècle, et d'autre part ceux qui connaissent une 'perte' en relatif à la fin de notre période d'étude, à savoir le début du XXIe siècle.

Dans la première famille de patterns, nous avons les types de patterns suivants :

1. « évolution ascendante, stabilité » qui regroupe les communes situées dans les vallées de l'Isère et du Drac qui ont connu une densification importante en termes soit de l'équipement, soit de l'habitat à la fin du XIXe siècle puis une stabilité relative au début de XXIe siècle ;
2. « évolution descendante, ascendante » qui regroupe les communes qui ont connu d'une part une 'perte' en relatif à la fin du XIXe siècle, c'est-à-dire qu'elles se sont densifiées moins que certaines communes de la zone, d'autre part, une urbanisation et une densification de l'équipement au début du XXIe siècle. Ce sont plus particulièrement les communes situées autour de Grenoble ;
3. enfin le pattern « stabilité, évolution ascendante » désigne les communes qui ont connu une stabilité relative du XVIIIe au XIXe siècle et une densification de l'habitat ou de l'équipement.

Les communes qui forment le pattern « évolution ascendante, ascendante » sont celles ayant connu une densification quasi continue au cours des deux siècles. Il s'agit des trois communes dans la vallée de l'Isère sous l'influence de la ville de Grenoble (voir la Figure 28).



Figure 28. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés – ‘gain’ relatif

La deuxième famille est représentée par les types de patterns suivants :

- le pattern « évolution ascendante, descendante » caractérise la plupart de communes qui étaient bien desservies par une gare à la fin du XIXe siècle et qui ne le sont plus au début du XXIe siècle. Ceci est dû à la fermeture de certaines lignes du tramway suburbain de la région grenobloise en 1952.
- le pattern « stabilité, évolution descendante » est représenté par une seule commune, à savoir la commune de Teche, une petite commune dans la vallée de l'Isère à l'ouest du massif du Vercors, située dans le voisinage des communes appartenant au pattern « évolution ascendante, stabilité ». Malgré nos recherches, nous n'avons pas trouvé d'hypothèses qui pourraient expliquer ce phénomène singulier et isolé.

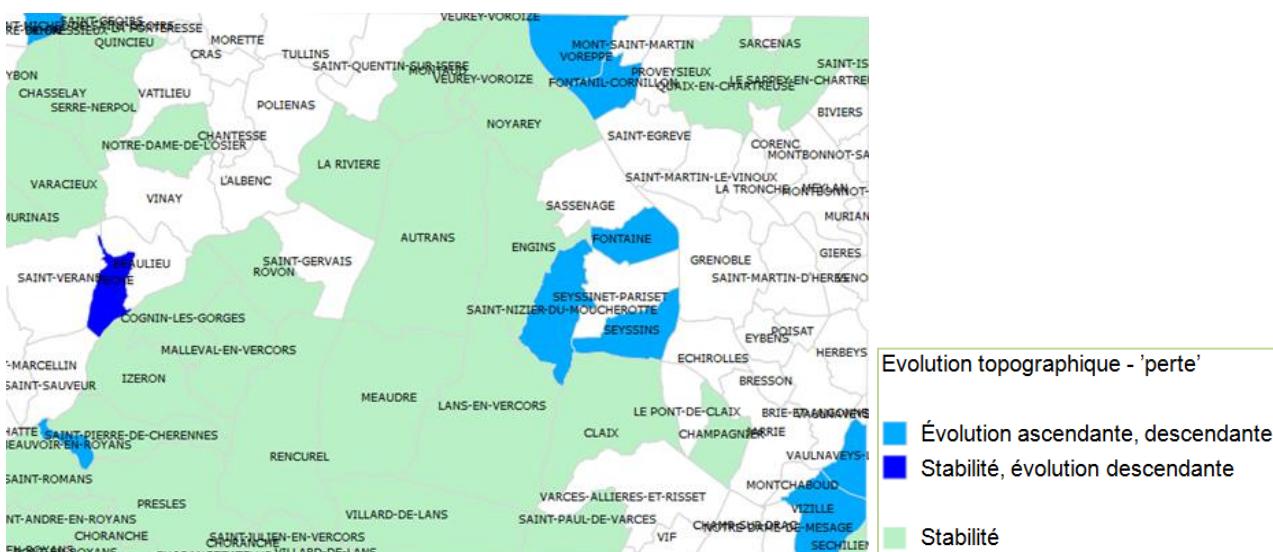


Figure 29. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés – ‘perte’ relative

...selon la population

L'analyse globale des patterns construits à partir des profils topographiques et démographiques a permis de mettre en évidence différents types de trajectoire : communes caractérisées par une stabilité tout au long de la période considérée, par une évolution ascendante ou descendante, ou par une combinaison des trois. La cartographie des patterns nous a permis, entre autres, de localiser les différents types de patterns et d'identifier des corrélations spatialisées, ce qu'une analyse purement statistique n'aurait pas permis.

4.2.3 Analyse locale des patterns d'évolution sur deux temporalités...

Rappelons que l'analyse globale des patterns d'évolution décrite ci-dessus consiste à analyser les patterns sur toute la période considérée. Une analyse plus fine des patterns, menée à une échelle locale entre deux dates consécutives, permettrait d'expliquer certaines tendances observées lors de l'analyse globale.

...selon la topographie

Pour analyser les types de changement survenus aux communes, nous avons calculé deux matrices de transitions, qui mesurent respectivement les évolutions de classe entre la fin du XVIII^e siècle et la fin du XIX^e siècle (voir Figure 30) et entre la fin du XIX^e et le début du XX^e (voir la Figure 31).

Rappelons que la diagonale principale mesure la stabilité des classes, tandis que les parties supérieure et inférieure de la diagonale illustrent respectivement l'évolution dite 'ascendante' et l'évolution dite 'descendante'.

D'après la Figure 30, un effectif de 45 communes (~50% des communes) sont stables, ne changeant pas de classe d'une date à une autre. Cette stabilité concerne les classes 1 -« rural en altitude, accessibilité faible »- et 2 -« habitat dispersé, accessibilité faible »-. Pour cette période, nous remarquons une faible évolution ascendante et uniforme qui concerne toutes les classes ; pour chaque classe de 1 à 5 communes transitent vers une classe supérieure. L'évolution descendante est plus importante pour cette période : 25 communes évoluent dans une classe inférieure. Notons la classe 4 -« urbanisé, accessibilité moyenne »- pour laquelle 11 communes changent de profil, passant dans la classe 2 à la fin du XIX^e siècle. Ce sont, comme nous l'avons vu dans la partie classification, les noyaux urbains importants à la fin du XVIII^e siècle qui ont perdu de l'importance 100 ans plus tard.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	27	3	3	0	0	33
Classe 2	5	17	1	3	1	27
Classe 3	0	8	1	0	5	14
Classe 4	1	11	0	0	5	17
Classe 5	0	0	0	0	0	0

Figure 30. Matrice de transition des classes topographiques de la fin du XVIII^e siècle à la fin du XIX^e siècle

Pour la période fin du XIX^e siècle-début du XX^e siècle, nous remarquons en Figure 31, un nombre beaucoup plus important, comparé à la période précédente, de communes stables (57 communes, ~ 62%) d'une part et de communes qui connaissent une évolution ascendante (22 communes) d'autre part. Notons par exemple la classe 2 -« habitat dispersé, accessibilité faible »- qui est la plus instable, pour laquelle 18 communes sur 39 changent de profil, dont dix communes passent dans la classe 4 -« urbanisé, accessibilité moyenne ». Par contre, rapporté à la période précédente, le nombre d'évolutions descendantes a fortement baissé, s'élevant à dix. Notons aussi la classe 5 -« urbanisé et accessibilité forte » pour laquelle six communes sur onze évoluent vers une classe inférieure.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	27	2	3	1	0	33
Classe 2	0	21	4	10	4	39
Classe 3	2	1	0	2	0	5
Classe 4	0	1	0	2	0	3
Classe 5	0	2	3	1	5	11

Figure 31. Matrice de transition de classes topographiques de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

Une deuxième manière d'analyser les transitions est de regarder le franchissement afin de repérer les phénomènes spatiaux et d'identifier la vitesse de l'évolution.

La répartition spatiale des transitions pour la première période (voir la Figure 32) confirme que les communes stables sont dans le massif du Vercors, le massif de la Chartreuse et à l'ouest de la vallée de l'Isère. Les communes ayant une évolution ascendante sont celles localisées dans la vallée de l'Isère, à l'est du massif du Vercors, autour de Grenoble, Grenoble y compris. L'urbanisation autour de Grenoble est confirmée dès cette période en étant relativement rapide, puisque un nombre important de communes connaissent une transition caractérisée par un pas de franchissement supérieur à 2.

L'évolution descendante, quant à elle, est répartie plus uniformément entre les vallées, même si une concentration de communes qui évoluent vers une classe inférieure est constatée dans la vallée de l'Isère à l'ouest du massif du Vercors.

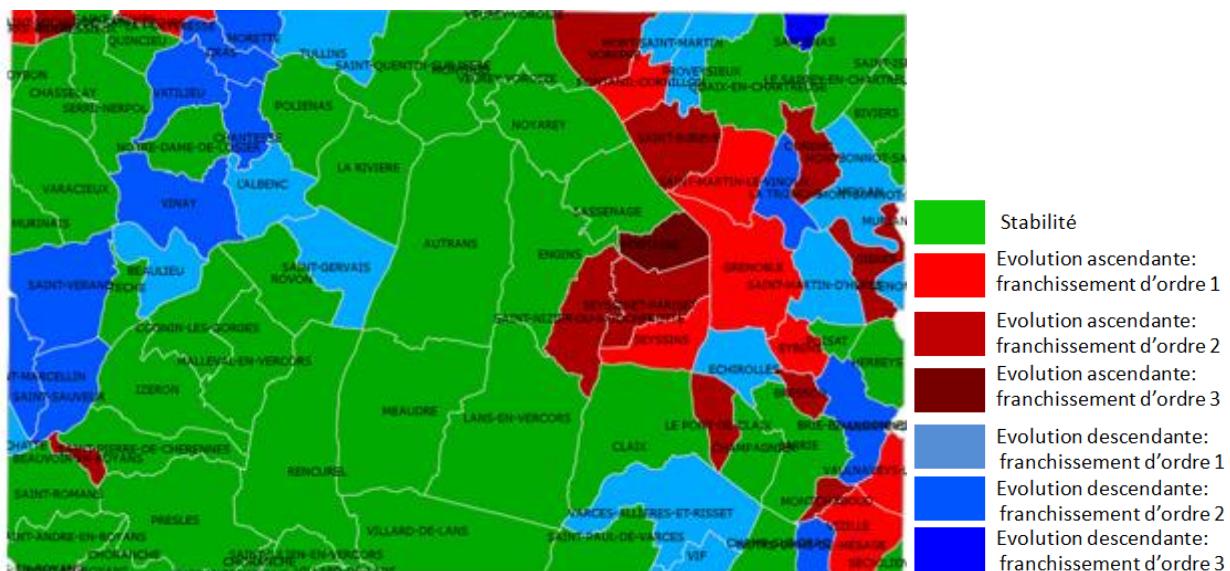


Figure 32. Répartition spatiale des transitions de classes topographiques selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

La répartition spatiale des transitions (voir la Figure 33) illustre clairement l'urbanisation autour de Grenoble qui s'accélère pour la deuxième période, Grenoble restant stable. Nous remarquons que la stabilité gagne du terrain, n'étant plus caractérisée que par les communes situées en altitude. Seulement quelques communes connaissent une évolution descendante pour cette période. Grâce à la spatialisation des résultats, nous pouvons remarquer que ce phénomène est réel, engendré par l'abandon de la ligne de tramway pour certaines communes, ou peut être une « fausse » évolution descendante due à un effet de bord et de taille pour d'autres communes situées en bordure de zone ou ayant une faible superficie.

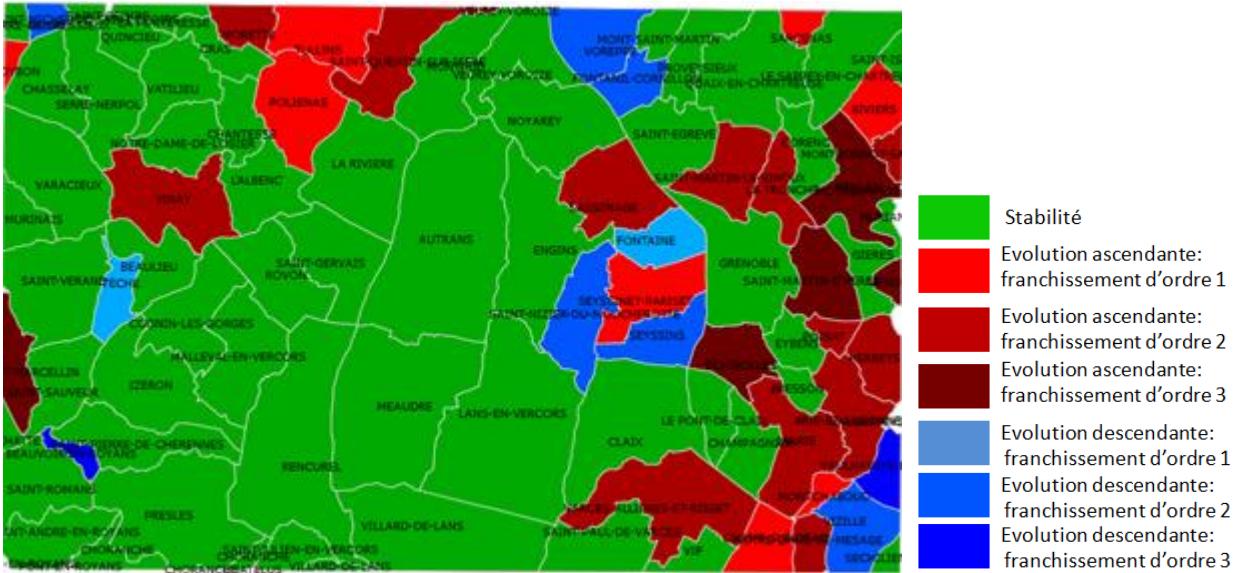


Figure 33. Répartition spatiale des transitions de classes topographiques selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

...selon la population

Nous présentons maintenant le même type d'analyse que le précédent, mais en analysant les évolutions des communes selon leur appartenance à une classe de densité de population.

Les matrices de transition pour les deux périodes (Figure 34 et Figure 35) montrent le peuplement des communes, phénomène amplifié au XXI^e siècle. Le phénomène d'exode rural est très peu mis en évidence pour la zone de Grenoble. Seulement 10 communes sont passées dans une classe de densité de population inférieure, et se sont dépeuplées. Il s'agit de 3 communes pour la première période et de 7 communes pour la deuxième période. Ce phénomène concerne les classes de très faible densité de population.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	32	11	0	0	0	43
Classe 2	2	33	9	0	0	44
Classe 3	1	0	2	0	0	3
Classe 4	0	0	0	0	1	1
Classe 5	0	0	0	0	0	0

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 34. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle

En ce qui concerne la stabilité, nous observons un phénomène inverse par rapport à l'analyse des transitions des classes topographiques. Ainsi, le nombre de communes stables décroît lors de la deuxième période, passant de 67 communes à 44 communes. En revanche, la stabilité concerne, comme dans l'analyse précédente, les communes de faible densité.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	27	5	3	0	0	35
Classe 2	7	14	13	9	1	44
Classe 3	0	0	2	5	4	11
Classe 4	0	0	0	0	0	0
Classe 5	0	0	0	0	1	1

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 35. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

La cartographie de la matrice de transition, illustrée en Figure 36, montre d'une part que l'évolution ascendante est caractérisée par les communes situées dans les vallées de la région d'étude, et d'autre part qu'elle est plutôt lente, le franchissement de classe étant uniquement d'ordre 1.

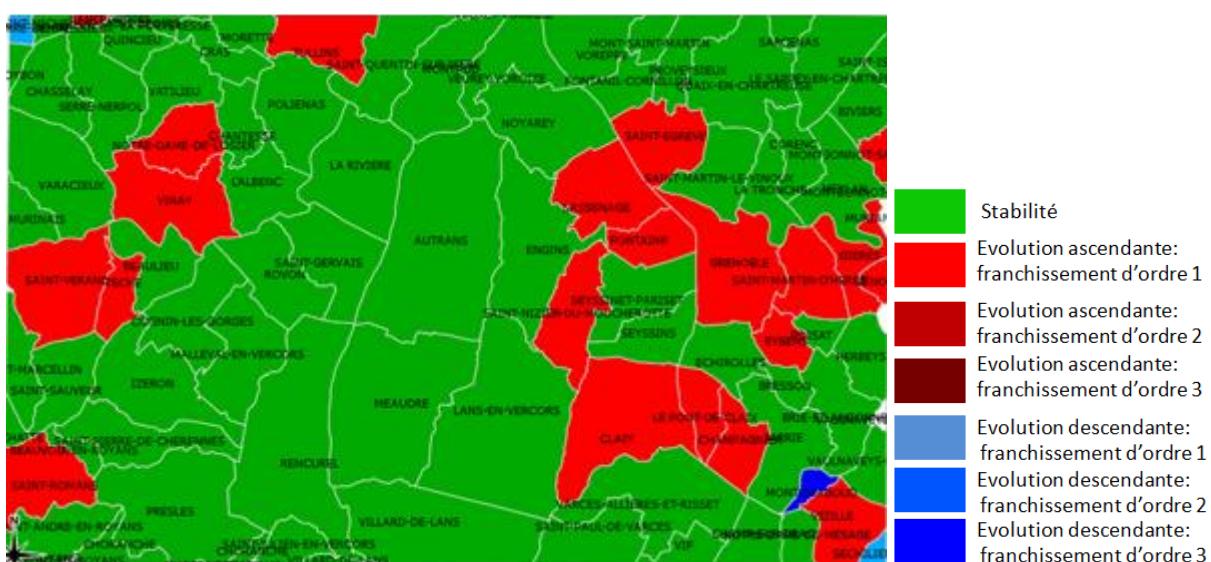


Figure 36. Répartition spatiale des transitions de classe de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

En revanche, pour la deuxième période, les communes autour de Grenoble sont caractérisées par une très forte et rapide croissance de la population. Notons que le pas de franchissement de classe pour les communes formant la première couronne de Grenoble est au moins d'ordre 2. Remarquons aussi qu'à l'exception de deux communes, toutes les autres qui connaissent une évolution ascendante sont celles qui forment l'aire urbaine de Grenoble (voir la Figure 36).

Les seules communes qui se dépeuplent, au nombre de 7, sont situées à l'ouest du massif du Vercors. Il convient de noter que le phénomène d'exode rural n'est pas marquant pour cette zone d'étude. Ainsi, la méthode que nous proposons et les données que nous utilisons ne mettent pas en évidence un exode rural trop important. Il est possible que des communes aient connu une baisse de la densité de population mais celle-ci peut ne pas être assez significative pour que les seuils utilisés dans la classification soient franchis.

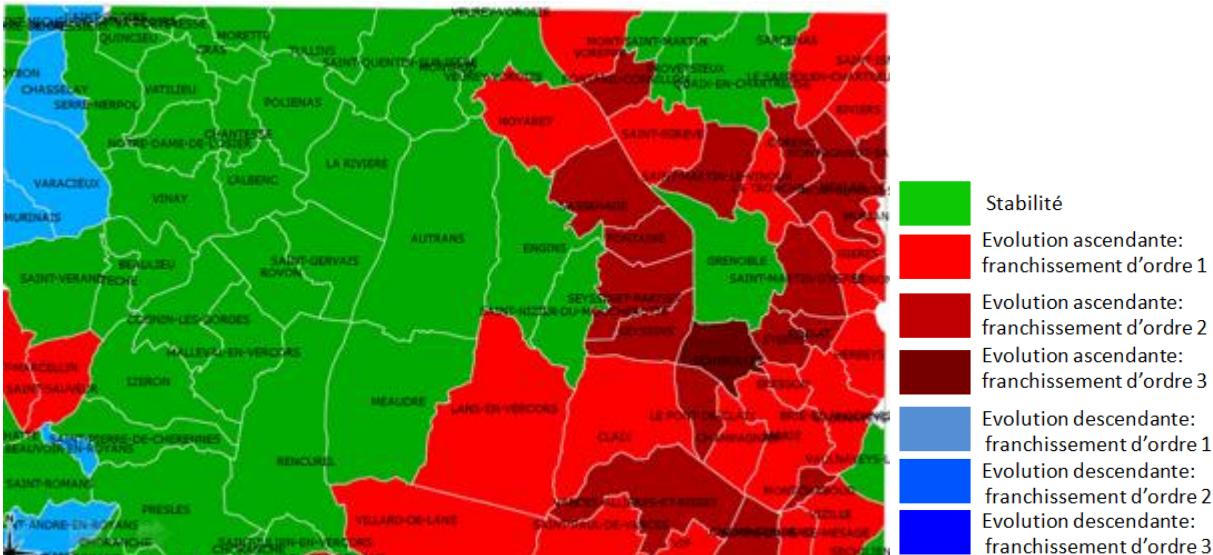


Figure 37. Répartition spatiale des transitions de classes de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XIXe – début XXIe siècle

4.3 Analyse des corrélations

Dans cette partie nous nous intéressons à l'évolution démographique, administrative et topographique de nos zones d'études dans le but d'établir des corrélations ou d'éventuelles tendances entre ces évolutions.

Nous rappelons que le changement administratif a été observé par des événements codés dans la base de données Cassini-Geopeuple tels que : absorption d'une autre commune, fusion, scission, perte de parcelle, etc. (Plumejeaud et Le Bras, 2012). L'analyse des profils administratifs au cours du temps a été détaillée dans (Nahassia et Plumejeaud, 2012) et ne fait plus l'objet de description dans ce rapport. En revanche, étant donné que nous avons changé la méthodologie de définition des classes, nous avons refait les tests de corrélation entre les évolutions administratives, démographiques et topographiques.

Premièrement, nous avons effectué un test de Khi2 entre la présence/absence de changement administratif et la présence/absence d'évolution selon la topographie d'une part et la population d'autre part. Les résultats des tests sont négatifs, avec une significativité de 5%, l'hypothèse nulle n'étant donc pas rejetée. Ainsi, nous n'avons constaté de corrélation ni entre le changement administratif et la démographie ni entre le changement administratif et la topographie.

En revanche, en ce qui concerne l'analyse des corrélations entre les profils de communes selon la population versus la topographie, le test de Khi2 a montré qu'il existe une corrélation entre les deux variables, l'hypothèse nulle étant rejetée avec une significativité de 5%. Les variables étant qualitatives, nous ne pouvons pas mesurer l'intensité de la corrélation. Cependant, l'analyse des classes et la répartition des classes selon les deux indicateurs topographique et démographique nous montrent :

- Une corrélation entre les communes faiblement équipées et celles qui ont une très faible densité de population (couleurs neutres),
- Une corrélation entre les communes très équipées et celles qui ont une très forte densité de population.

La Figure 38 illustre la répartition des communes ayant des profils semblables selon la topographie et la population.

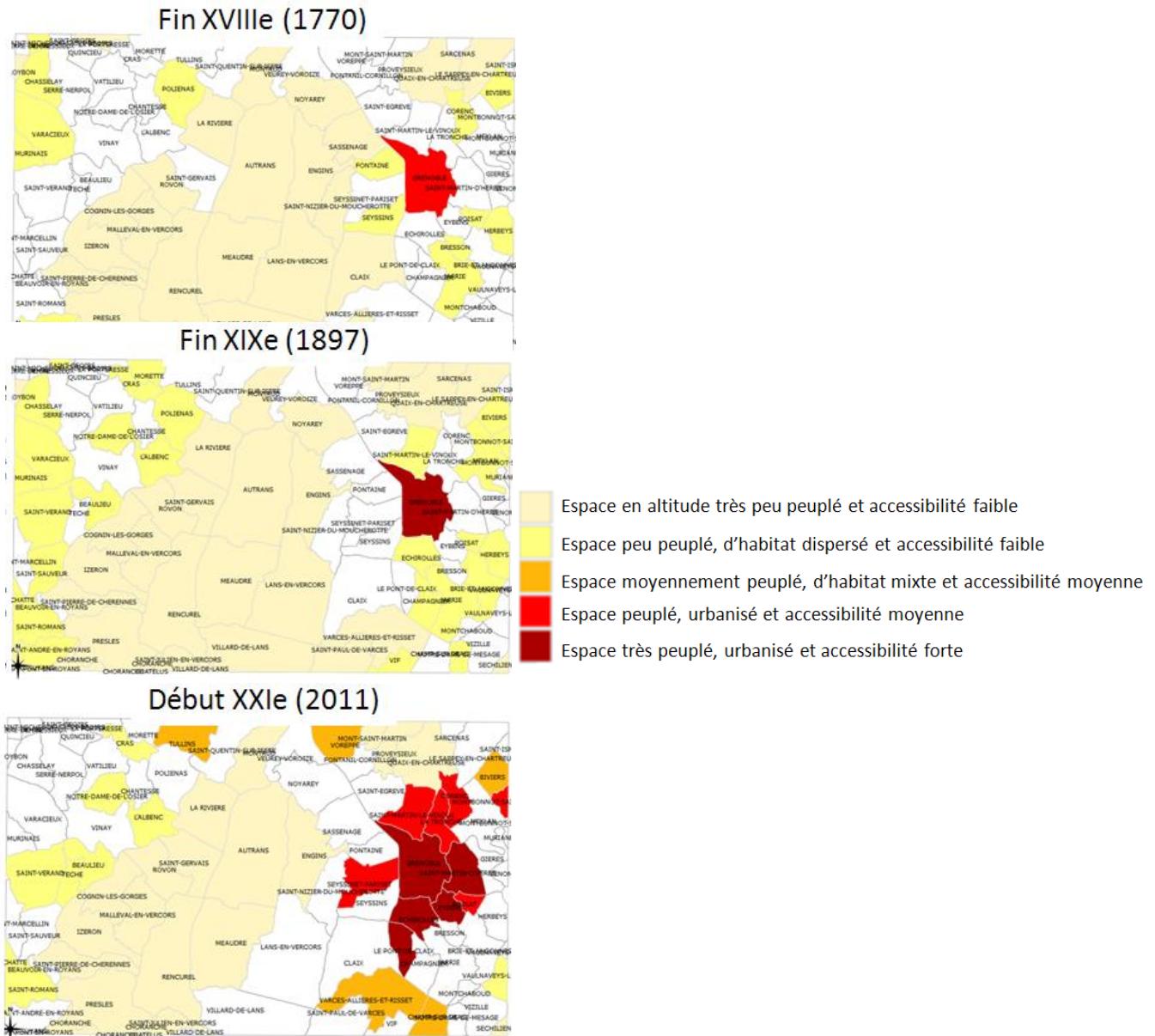


Figure 38. Répartition des communes de la zone de Grenoble ayant le même profil selon la population et la topographie

5. Résultats sur la zone Saint-Malo

Cette partie a pour objectif de décrire les résultats obtenus pour la zone de St-Malo. La démarche est celle expliquée en partie 2 et qui a été appliquée également pour la zone de Grenoble. Cette deuxième zone d'étude (voir la Figure 39) est une région côtière et d'habitat dispersé. Il convient de noter que la commune de Saint-Malo ne fait pas partie de la zone, ceci étant dû au découpage des cartes Cassini en quart de feuille.

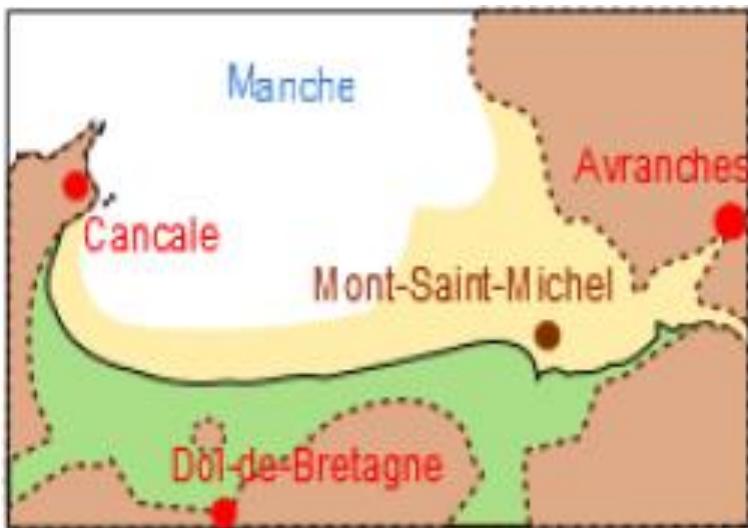


Figure 39. La zone de St-Malo

5.1 Analyse de la classification

Nous avons réalisé une classification en utilisant les indicateurs topographiques et une deuxième en utilisant la densité de population.

5.1.1 Classification des communes selon la topographie ...

La CAH est appliquée sur la carte des distances (U-Matrix) des indicateurs topographiques caractérisant les communes de la zone de St-Malo. Le dendrogramme obtenu suggère une partition en 4 classes qui reproduit l'organisation des espaces exprimée par l'U-Matrix de la carte de Kohonen. Contrairement à la zone de Grenoble et de Reims, pour la zone de St-Malo les classes obtenues sont stables, les mêmes classes étant identifiées aux trois dates. C'est pour cela que nous décrivons une seule fois les caractéristiques des classes et nous présentons trois cartes, chacune d'entre elles illustrant la distribution spatiale des classes selon la date : Figure 40 pour la fin du XVIII^e siècle, la Figure 41 pour la fin du XIX^e siècle et enfin la Figure 42 pour le début du XX^e siècle.

Dans ce territoire côtier, le réseau hydrographique joue un rôle discriminant dans la constitution des classes de communes. Nous obtenons les classes suivantes :

1. Classe 1 : *Espace d'habitat dispersé et accessibilité faible*. Cette première classe regroupe les espaces caractérisés par un habitat dispersé ayant une faible accessibilité.
2. Classe 2 : *Espace d'habitat mixte, accessibilité forte et hydrographie artificialisée*. Cette classe représente les espaces d'habitat mixte maillés par les nombreux canaux de drainage de la zone.
3. Classe 3 : *Espace urbanisé et accessibilité moyenne*. Cette classe représente les communes urbanisées et ayant une accessibilité moyenne. Notons également que le nombre élevé des bâtiments militaires caractérise également cette classe.
4. Classe 4. *Espace urbanisé et accessibilité forte*. Cette classe regroupe les communes urbanisées et ayant une accessibilité forte relativement à la zone d'étude, du à un nombre important de voies routières ou ferrées ainsi que de gares.

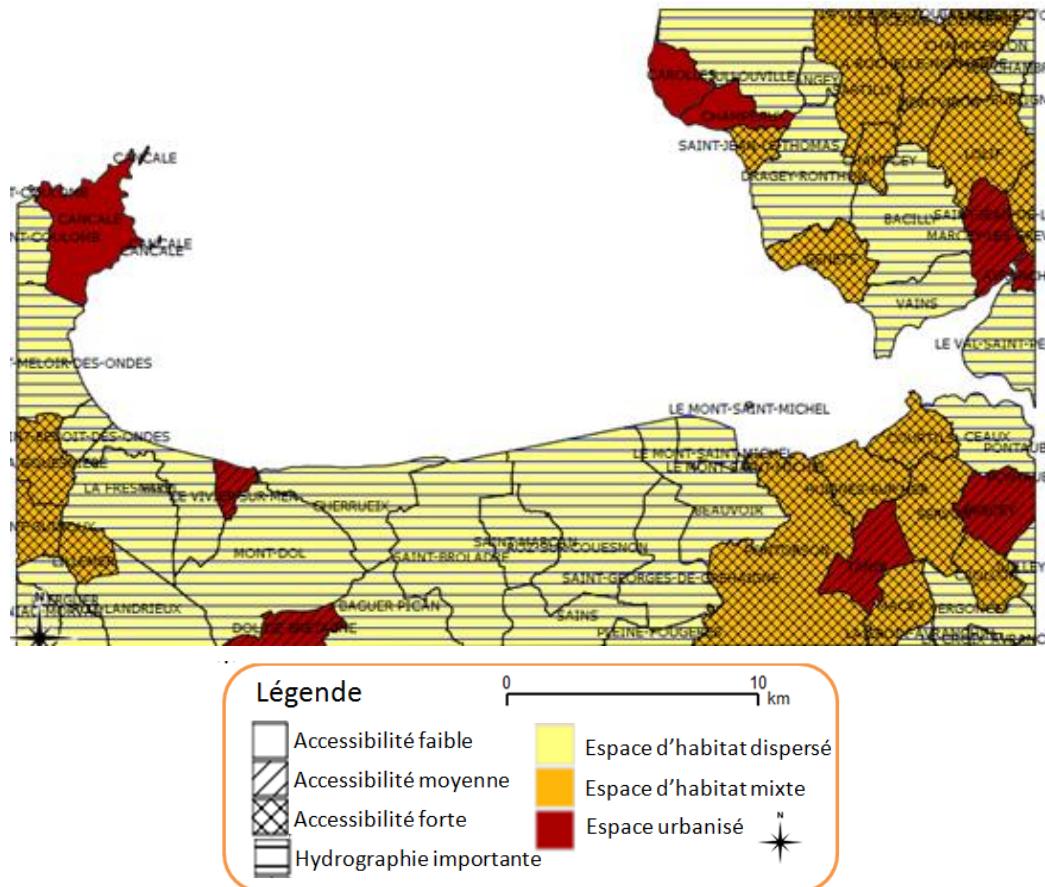


Figure 40. Répartition spatiale des classes à la fin du XVIIIe siècle (1789) sur la zone de St-Malo

La classification sur la zone de St-Malo met en évidence un territoire d'habitat dispersé, avec l'hydrographie qui joue un rôle discriminant dans la classification quelle que soit l'époque. Nous remarquons dès le XVIIIe siècle quelques noyaux urbains, la plupart restant au cours du temps. Il s'agit par exemple des communes de Cancale, d'Avranches, de Carolles. Les communes d'habitat mixte et d'accès fort à la fin du XVIIIe siècle sont regroupées spatialement en trois zones : au sud de la commune de Cancal, au sud-est de la zone d'étude autour de la commune de Tanis et au nord-est de la zone.

A la fin du XIXème siècle, nous remarquons que le réseau hydrographique artificiel est moins discriminant qu'à l'époque de Cassini. A cette époque, l'habitat dispersé en unités isolées et l'accès faible caractérisent notre zone d'étude. Seules quelques communes se détachent, en général les mêmes qu'à la fin du XVIIIe siècle. Ces communes sont situées sur la côte et vivent principalement du tourisme et de l'ostréiculture. La commune d'Avranches est la seule commune de la classe 4, urbanisée et fortement accessible. Elle est une ville importante de la zone et un relais touristique de la visite du Mont-Saint-Michel.

Ce profil de la zone est maintenu à la fin du XXIe siècle à l'exception de l'hydrographie qui semble redevenir importante pour quelques communes. La commune du Mont-Saint-Michel ressort comme une commune d'accès moyen seulement au début du XXIe siècle.

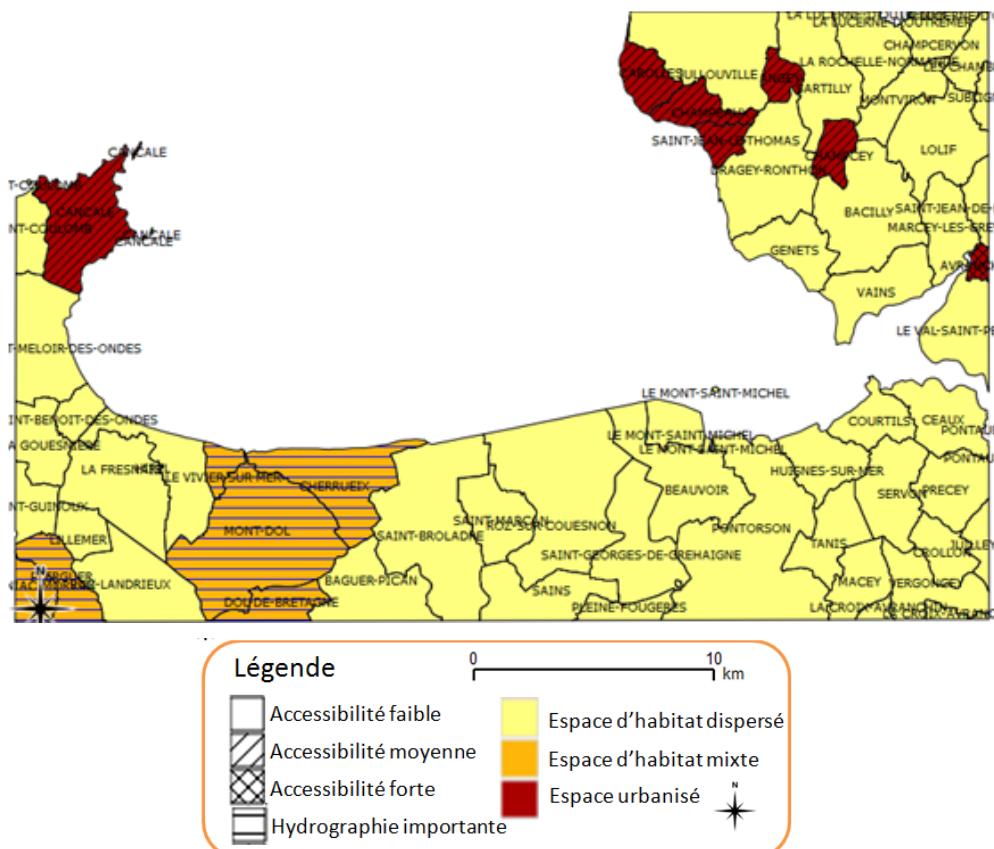


Figure 41. Répartition spatiale des classes selon la topographie à la fin du XIXe siècle (1895) sur la zone de St-Malo

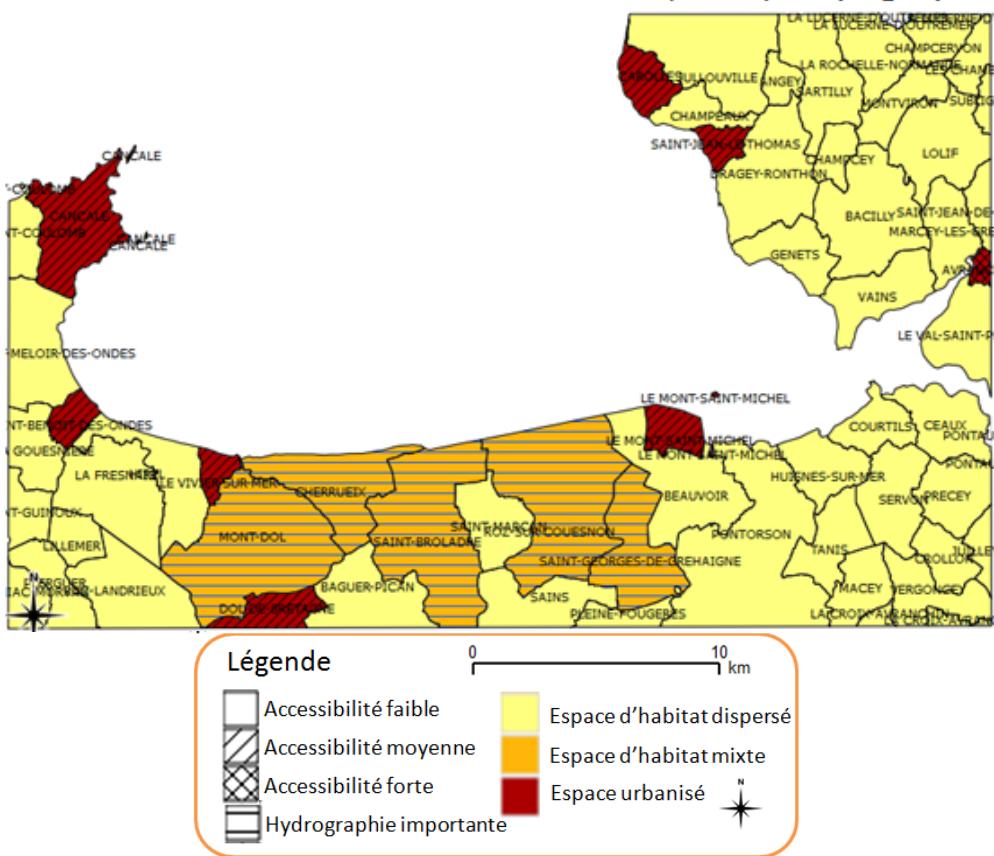


Figure 42. Répartition spatiale des classes selon la topographie au début du XXIe siècle (2011) sur la zone de St-Malo

5.1.2 Classification des communes selon la population

La classification des communes selon la population, avec les mêmes seuils fixés pour chaque zone et chaque époque, montre une zone peu peuplée au cours du temps, à l'exception des communes de Cancale et d'Avranches. Nous remarquons aussi le phénomène d'exode rural, qui commence à la fin du XIXe siècle et s'amplifie au début de XXIe siècle.

Les répartitions spatiales des classes de populations sont montrées en Figure 43 pour la fin du XVIIIe, en Figure 44 pour la fin du XIXe, et enfin en Figure 45 pour le début du XXIe siècle.



Figure 43. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XVIIIe siècle (1793) sur la zone de St-Malo

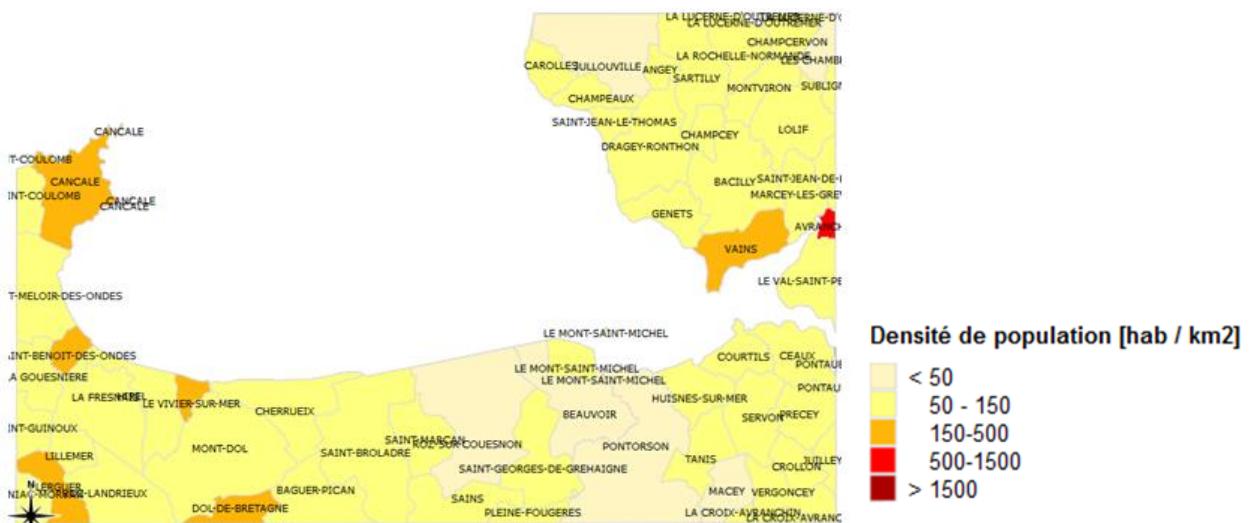


Figure 44. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XIXe siècle (1891) sur la zone de St-Malo

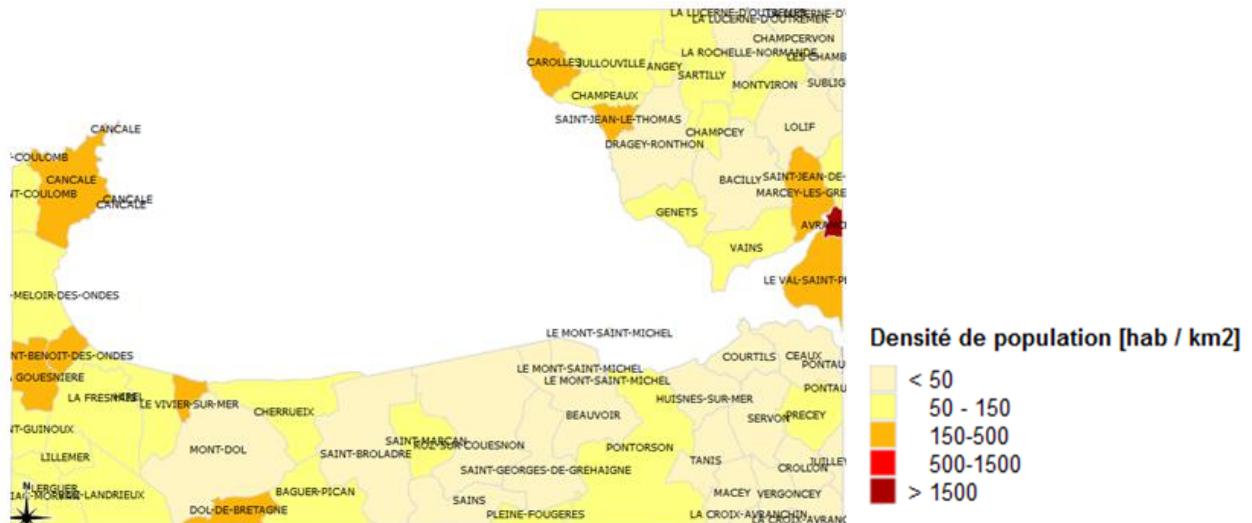


Figure 45. Répartition de la classification des communes selon la population au début du XXI^e siècle (2006) sur la zone de St-Malo

5.1.3 Mise en évidence des phénomènes locaux

La spatialisation de l'analyse des données historiques permet de mettre en évidence des phénomènes locaux, c'est-à-dire des espaces qui ont des profils ou des évolutions différentes des espaces voisins. En regardant les répartitions de différentes classifications, nous remarquons qu'il y a certaines communes qui possèdent un profil et une évolution différente des communes voisines. Prenons l'exemple de la commune de Cancale (Figure 46). Elle est urbanisée et d'accès moyen pendant toute la période, peuplée à la fin du XVIII^e siècle et moyennement peuplée à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle. Nous avons appris que la commune de Cancale était un point stratégique pour la défense de Saint-Malo au XVIII^e siècle, et était une commune portuaire occupée de marins du XVI^e siècle au XX^e siècle. A partir du XX^e siècle la commune est renommée pour son ostréiculture et est devenue une commune touristique en profitant de sa localisation face au Mont-Saint-Michel. Ces éléments pourraient expliquer en partie le peuplement et l'importance de la commune.

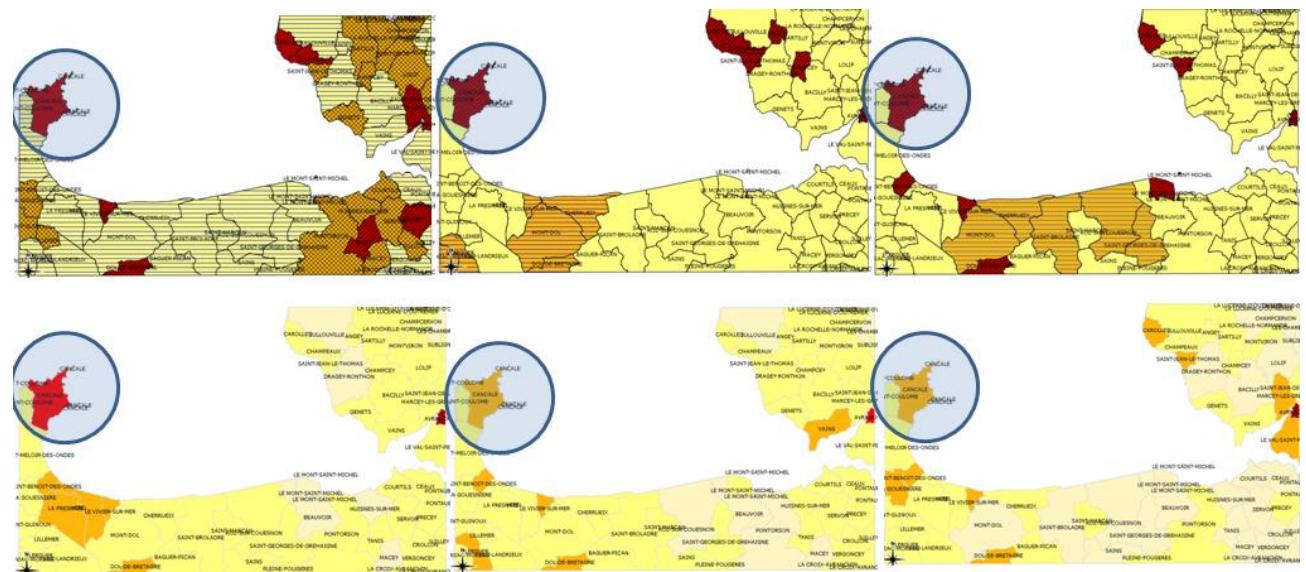


Figure 46. Exemple d'un phénomène local sur la zone de St-Malo : la commune de Cancale ; répartitions des classes pour chaque époque (fin du XVIII^e à gauche, fin du XIX^e au milieu, début du XX^e à droite) et pour chaque type d'information (la topographie en haut et la population en bas)

5.2 Analyse des évolutions

Rappelons que l'objectif de cette partie est de déterminer si le profil d'une commune à un temps t_1 est le même qu'à un temps t_2 ou s'il a changé, c'est-à-dire que la commune a changé de classe, et s'il est possible de décrire les causalités de changement, voire de stabilité. De même que pour la zone de Grenoble, nous étudions d'une part l'évolution des communes du point de vue de la topographie, et d'autre part du point de vue de la population ; enfin nous analysons les deux évolutions afin d'identifier des corrélations potentielles.

5.2.1 Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités...

...selon la topographie

Rappelons que pour chaque époque, nous avons retenu une répartition en quatre classes et que la trajectoire de chaque commune, que nous avons appelé pattern d'évolution, est définie par la succession des classes de la commune aux trois époques d'analyse.

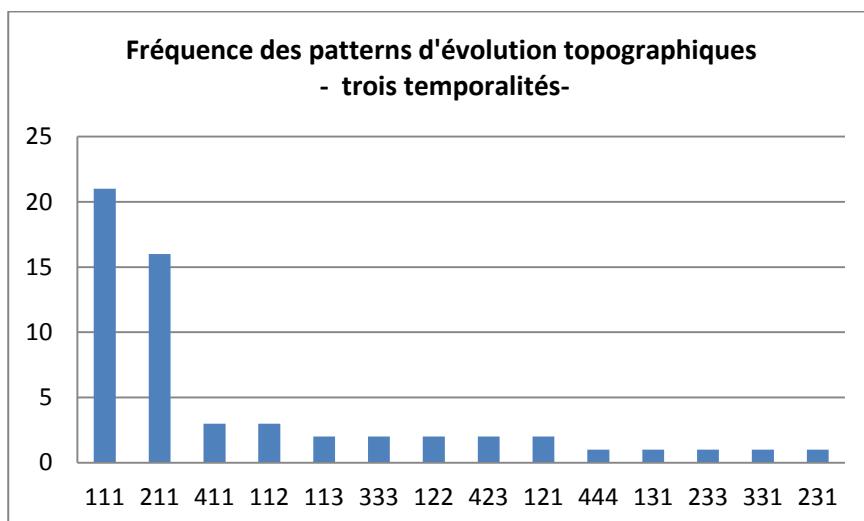


Figure 47. Fréquence des patterns d'évolution topographiques entre la fin du XVIII^e et le début du XXI^e siècle sur la zone de St-Malo

La Figure 47 permet d'identifier 14 types de patterns sur l'ensemble de la période d'étude dont trois patterns stables ('111', '333' et '444') et onze patterns évolutifs. Les patterns stables caractérisent respectivement les communes ayant un profil d'habitat dispersé et celles urbanisées et d'accès moyen et fort.

L'agrégation des patterns en fonction de leur stabilité et leur évolution ascendante ou descendante nous conduit à une typologie de patterns, dont nous illustrons la répartition spatiale dans les deux figures suivantes. Ainsi, la Figure 48 illustre par une gamme de couleurs chaudes, les communes qui ont connu un 'gain' relatif et la Figure 49 cartographie par une gamme de couleurs froides les communes ayant connu une 'perte' relative, surtout à la fin de notre période d'étude.

Nous remarquons pour la zone de St-Malo, une évolution représentée plutôt par un 'gain' relatif, qui se traduit par une évolution ascendante de la fin du XVIII^e siècle à la fin du XIX^e siècle, puis une stabilité relative. Seulement cinq communes sur 58 connaissent une 'perte' relative d'un point de vue de la topographie.

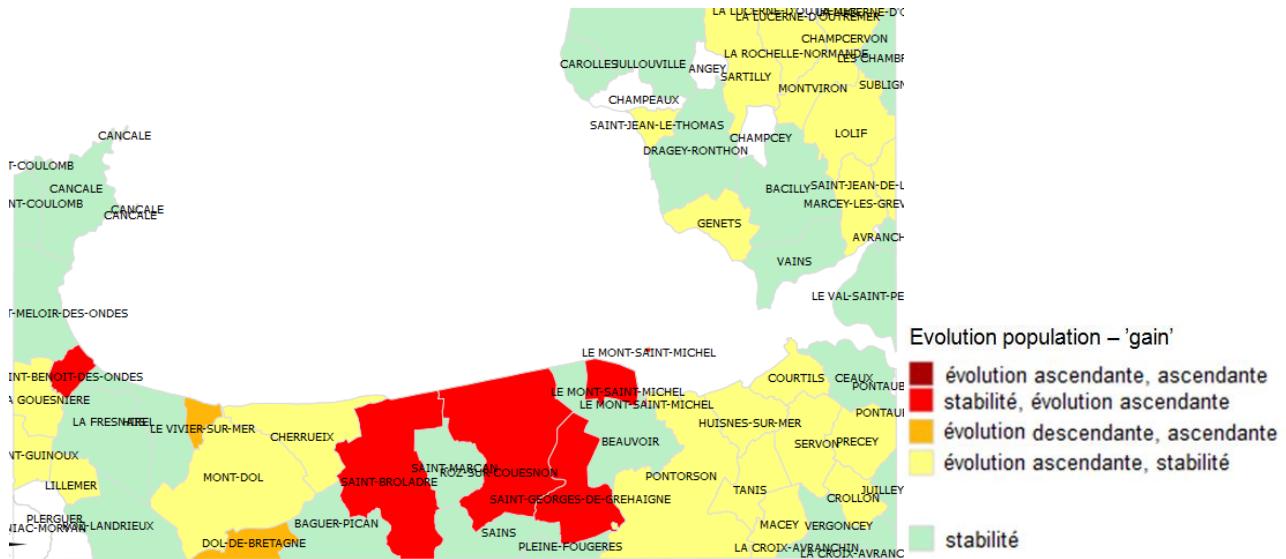


Figure 48. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la topographie – ‘gain’ relatif

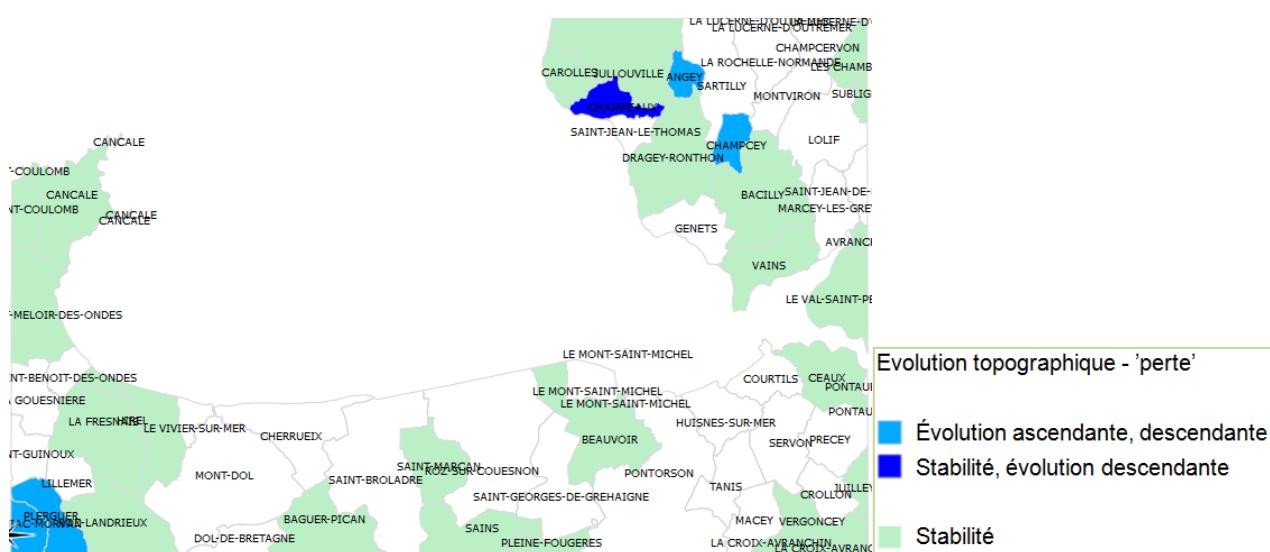


Figure 49. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la topographie – ‘perte’ relative

...selon la population

En ce qui concerne l'évolution des communes selon la population, nous remarquons un nombre important de communes qui connaissent une baisse de la densité de population.

Les distributions spatiales de deux types de famille de patterns ('gain' relatif et 'perte' relative) sont cartographiées en Figure 50 et Figure 51.

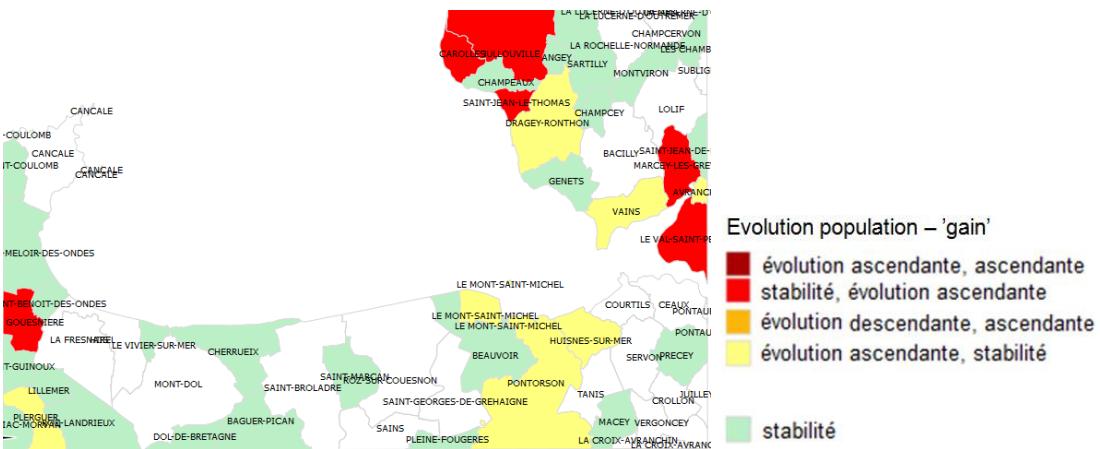


Figure 50. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la population – ‘gain’ relatif

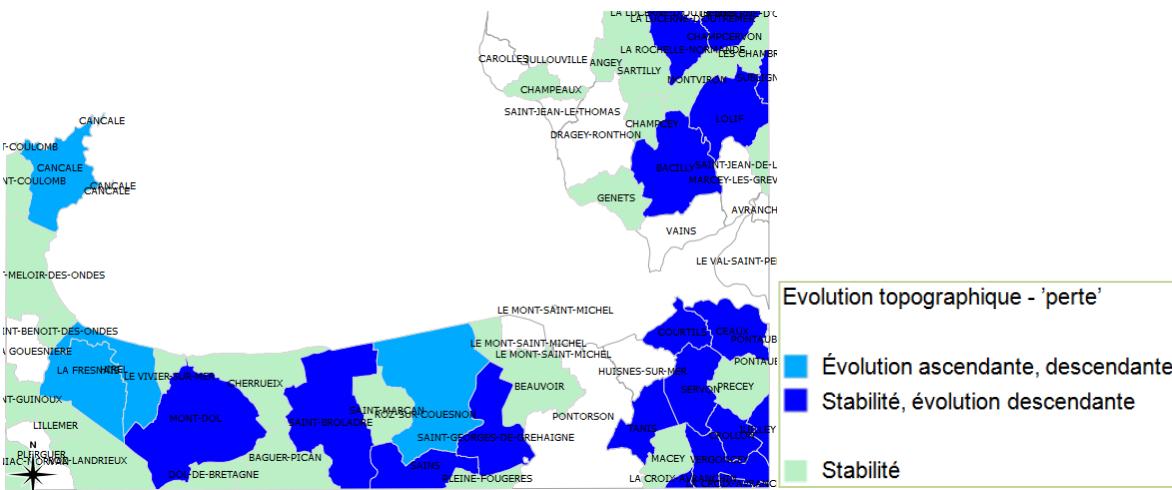


Figure 51. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la population – ‘perte’ relative

En conclusion, nous avons remarqué que la stabilité, voire le ‘gain’ relatif, caractérise cette zone côtière selon la topographie et qu’au contraire, la ‘perte’ relative décrit la zone d’un point de vu de la population. Si le phénomène d’exode rural pour cette zone ne nous surprend pas, en revanche, le gain relatif d’un point de vu topographique nous interpelle.

5.2.2 Analyse locale des patterns d’évolution sur deux temporalités...

Rappelons que l’analyse globale des patterns d’évolution décrite ci-dessus consiste à analyser les patterns sur toute la période considérée. Une analyse plus fine des patterns, menée à une échelle locale entre deux dates consécutives, permettrait d’expliquer certaines tendances observées lors de l’analyse globale.

...selon la topographie

Les deux matrices de transition, qui mesurent respectivement les évolutions de classes entre la fin du XVIII^e siècle et la fin du XIX^e siècle (voir la Figure 52) et entre la fin du XIX^e et le début du XXI^e siècle (voir la Figure 53) nous montrent que la classe 1 (habitat dispersé et accessibilité faible) est la classe ayant la fréquence la plus élevée et qu’elle est également la plus stable. Notons la classe 2 (espace d’habitat mixte, accessibilité forte et hydrographie artificialisée) qui est la plus instable pour la première période.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total
Classe 1	26	4	1	0	31
Classe 2	16	0	2	0	18
Classe 3	0	0	3	0	3
Classe 4	3	2	0	1	6

Figure 52. Matrice de transition de classes topographiques de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Total
Classe 1	40	3	2	0	45
Classe 2	2	2	2	0	6
Classe 3	3	0	3	0	6
Classe 4	0	0	0	1	1

Figure 53. Matrice de transition de classes topographiques de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

Nous regardons maintenant le franchissement de classe afin de repérer les phénomènes spatiaux et d'identifier la vitesse de l'évolution. La répartition spatiale des transitions pour la première période, conformément à la Figure 54 montre une évolution descendante topographique lente localisée au nord-est et sud-est de la zone d'étude.

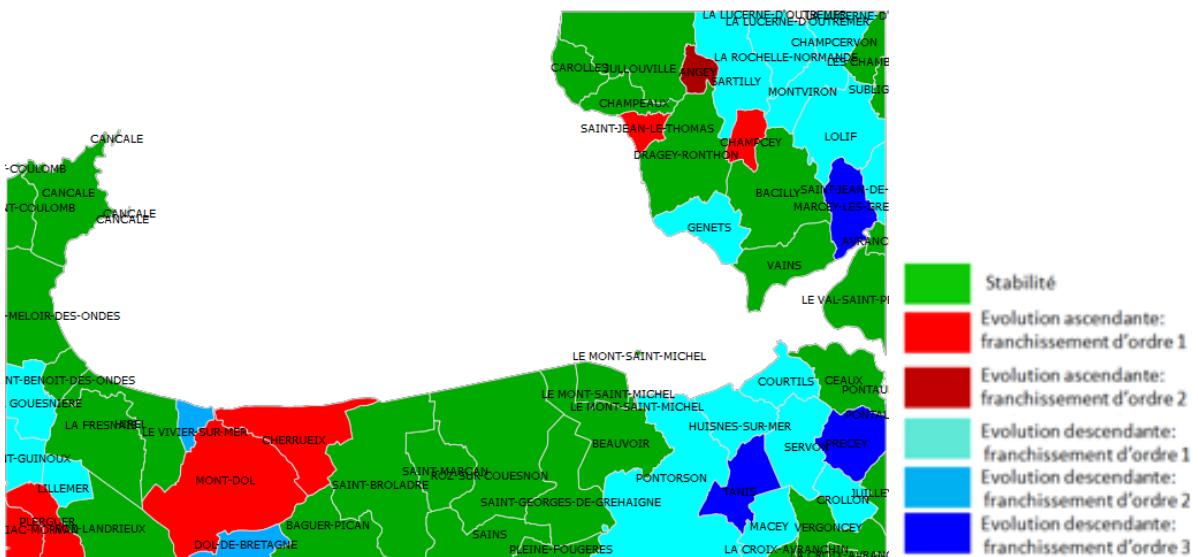


Figure 54. Répartition spatiale des transitions de classes topographiques selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

La répartition spatiale des transitions pour la deuxième période, représentée en Figure 55, illustre une stabilité topographique au début du XXIe siècle. Notons seulement quelques communes qui connaissent une évolution ascendante, avec un franchissement d'ordre 1 au sud-ouest de la commune du Mont-Saint-Michel.

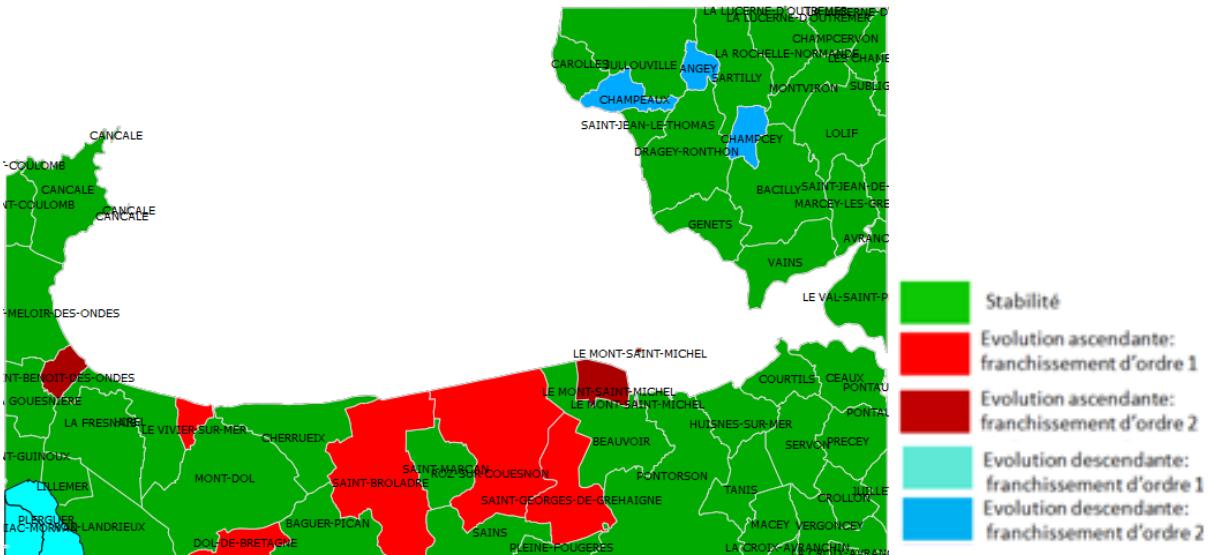


Figure 55. Répartition spatiale des transitions de classes topographiques selon le pas de franchissement pour la période : fin XIXe siècle- début du XXIe siècle

...selon la population

Selon la matrice de transition des classes de densité de population pour la période : fin du XVIIIe - fin du XIXe siècle, la zone de St-Malo est stable, 47 communes sur 58 ne changent pas de classe (Figure 56). Notons que la classe 2 (faible densité) a la fréquence la plus élevée. La matrice de transition pour la deuxième période à savoir fin du XIXe siècle - début du XXIe siècle, montrée en Figure 57, met en évidence un dépeuplement de la zone, puisque 18 communes passent de la classe 2 à la classe 1 (très faible densité). C'est la classe 2 qui est la plus instable pour cette période.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	4	2	0	0	0	6
Classe 2	3	40	2	0	0	45
Classe 3	0	2	3	1	0	6
Classe 4	0	0	0	0	1	1
Classe 5	0	0	0	0	0	0

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 56. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	6	1	0	0	0	7
Classe 2	18	21	5	0	0	44
Classe 3	0	2	3	0	0	5
Classe 4	0	0	1	0	0	1
Classe 5	0	0	0	0	1	6

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 57. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

La cartographie de la matrice de transition, illustrée en Figure 58, montre une zone plutôt stable avec quelques évolutions dispersées spatialement, plutôt lentes, le franchissement de classe étant d'ordre 1.

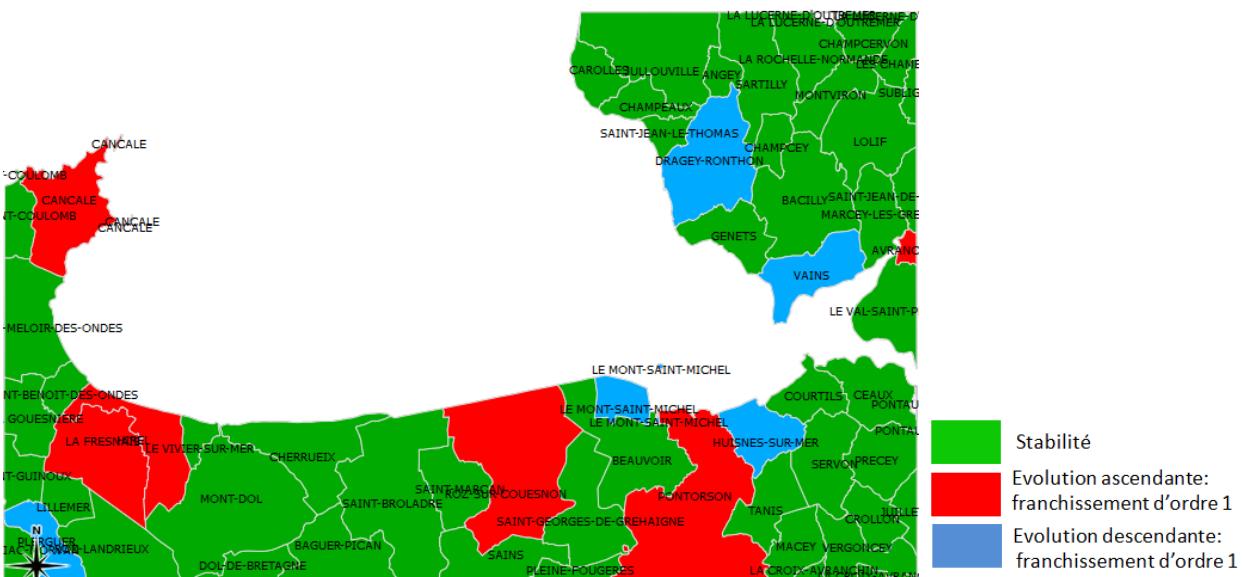


Figure 58. Répartition spatiale des transitions de classe de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

En revanche, pour la deuxième période, sur la zone de Reims on peut observer le phénomène d'exode rural. Les communes qui se dépeuplent sont plutôt groupées spatialement, ce qui montre que le phénomène n'est pas local mais qu'il se propage bien sur toute la zone d'étude (voir la Figure 59).

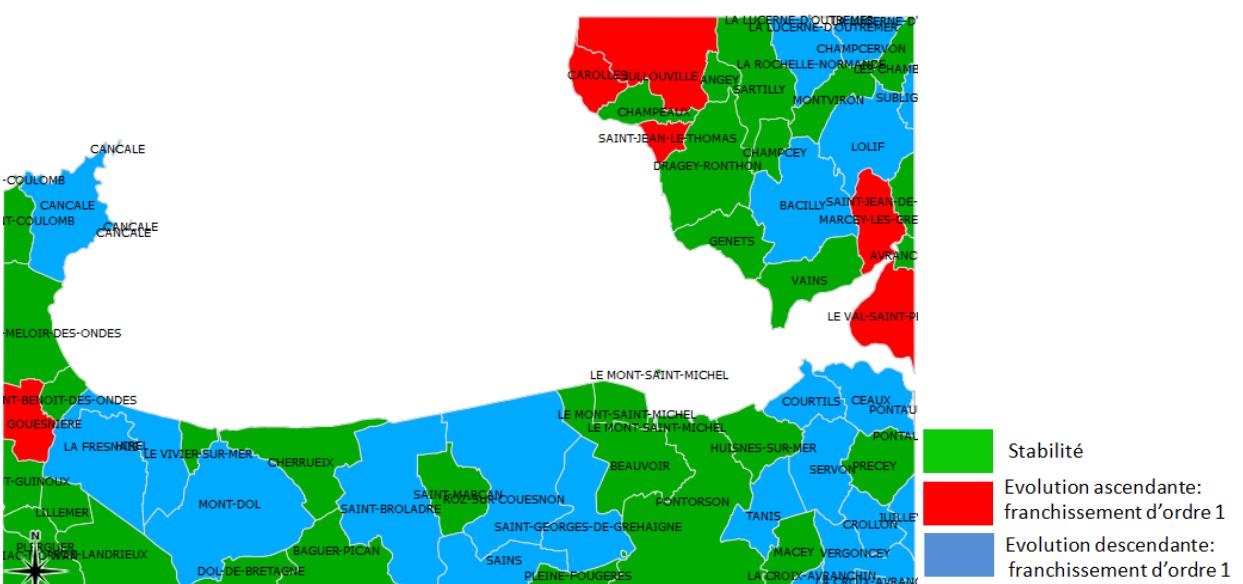


Figure 59. Répartition spatiale des transitions de classe de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XIXe siècle- début XXIe siècle

5.3 Analyse des corrélations

Pour étudier la corrélation nous avons appliqué la même démarche que celle décrite dans la partie 4. Les résultats des tests de corrélation entre le changement administratif et la population d'une part et le changement administratif et la topographie, d'autre part, sont négatifs, avec une significativité de 5%, l'hypothèse nulle n'étant donc pas rejetée.

Le même résultat a été obtenu pour les corrélations entre les profils de communes selon la population versus la topographie. Le test de Khi2 a montré qu'il n'existe pas de corrélation entre les deux variables, l'hypothèse nulle étant acceptée avec une significativité de 5%.

6. Résultats sur la zone de Reims

Cette partie a pour objectif de décrire les résultats obtenus pour la zone de Reims. De même que pour les zones de Grenoble et Saint-Malo, après la description de la zone, les analyses des évolutions font l'objet de trois sous-sections : une première sous-section décrit les résultats obtenus à l'issue de l'étape de classification, en distinguant la classification selon la topographie et celle basée sur la densité de population. La deuxième sous-section est consacrée à l'analyse des évolutions. Enfin les analyses des corrélations font l'objet d'une troisième sous-section.

La zone de Reims (voir la Figure 60) est caractérisée par son territoire rural et viticole, de faible altitude. Cette zone est connue pour la production du champagne, ce qui est une contrainte pour l'urbanisation de la zone. L'emprise de cette zone, incluant les communes de Reims et d'Epernay, les communes les plus urbaines de la zone, couvre 88 communes, toutes les communes appartenant au département de la Marne.

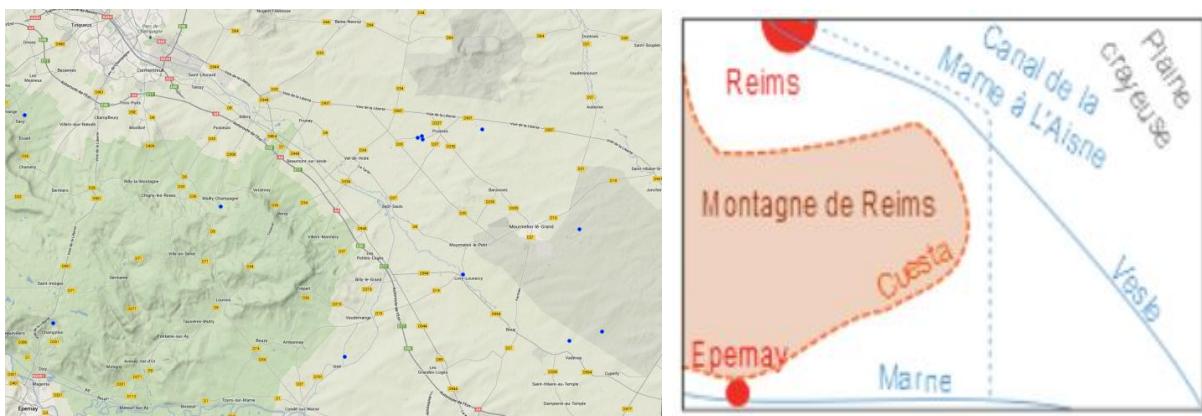


Figure 60. La zone de Reims

6.1 Analyse de la classification

Nous avons réalisé deux types de classification à chaque époque : une classification en utilisant les indicateurs topographiques et une deuxième en utilisant la densité de population.

6.1.1 Classification des communes selon la topographie ...

...à la fin du XVIII^e siècle

La CAH est appliquée sur la carte des distances (U-Matrix). Le dendrogramme obtenu suggère une partition en 5 classes qui reproduit l'organisation des espaces exprimée par l'U-Matrix de la carte de Kohonen.

Dans ce territoire relativement plat, le relief joue tout de même un rôle discriminant dans la constitution de classes de communes. Nous obtenons les classes suivantes :

1. Classe 1 : *Espace rural en faible altitude et faible accessibilité* : Cette première classe regroupe les espaces peu urbanisés, peu équipés, sans noyau urbain, d'altitude faible et très peu desservies. Il s'agit de communes situées dans la pleine de Reims.
2. Classe 2 : *Espace rural et accessibilité moyenne*. Cette classe regroupe les communes rurales en faible altitude et ayant une accessibilité relativement importante due à un nombre important de routes afférentes. Il s'agit des communes situées à proximité des noyaux urbains tels que Reims et Epernay.
3. Classe 3 : *Espace rural et accessibilité élevée*. Cette classe contient une seule commune, à savoir la commune de Magenta, une petite commune située au nord de la commune d'Epernay. Elle soulève notre intérêt, d'autant plus qu'elle fait partie à elle seule d'une classe à part, et ceci quelle que soit l'époque (voir la Figure 62. La commune de Magenta à la fin du XVIII^e siècle)
4. Elle est caractérisée par les indicateurs d'accessibilité routière et hydrographique les plus élevés de la zone d'étude. Elle est traversée par deux voies routières et un tronçon hydrographique. Les

valeurs élevées des trois indicateurs exprimés en densité (route, route afférente et hydrographie naturelle) sont expliquées par la faible superficie de cette commune ($8,3 \text{ km}^2$) par rapport aux équipements qui s'y situent.

5. Classe 4 : *Espace d'habitat mixte et faible accessibilité*. Cette classe représente les espaces d'habitat mixte, la plupart situés en altitude (altitude élevée relative à la zone d'étude) et d'accès faible. Comme le montre la Figure 61, la plupart des communes regroupées dans cette classe sont situées dans la Montagne de Reims.
6. Classe 5 : *Espace urbanisé et accessibilité moyenne*. Cette classe représente les communes les plus urbanisées et accessibles pour la zone de Reims, et ceci dès la fin du XVIII^e siècle. Il s'agit des communes de Reims, Epernay, Ay, Mareuil-sur-Ay et Avenay-Val-d'Or.

La répartition spatiale des classes issues de la classification est présentée en Figure 61.

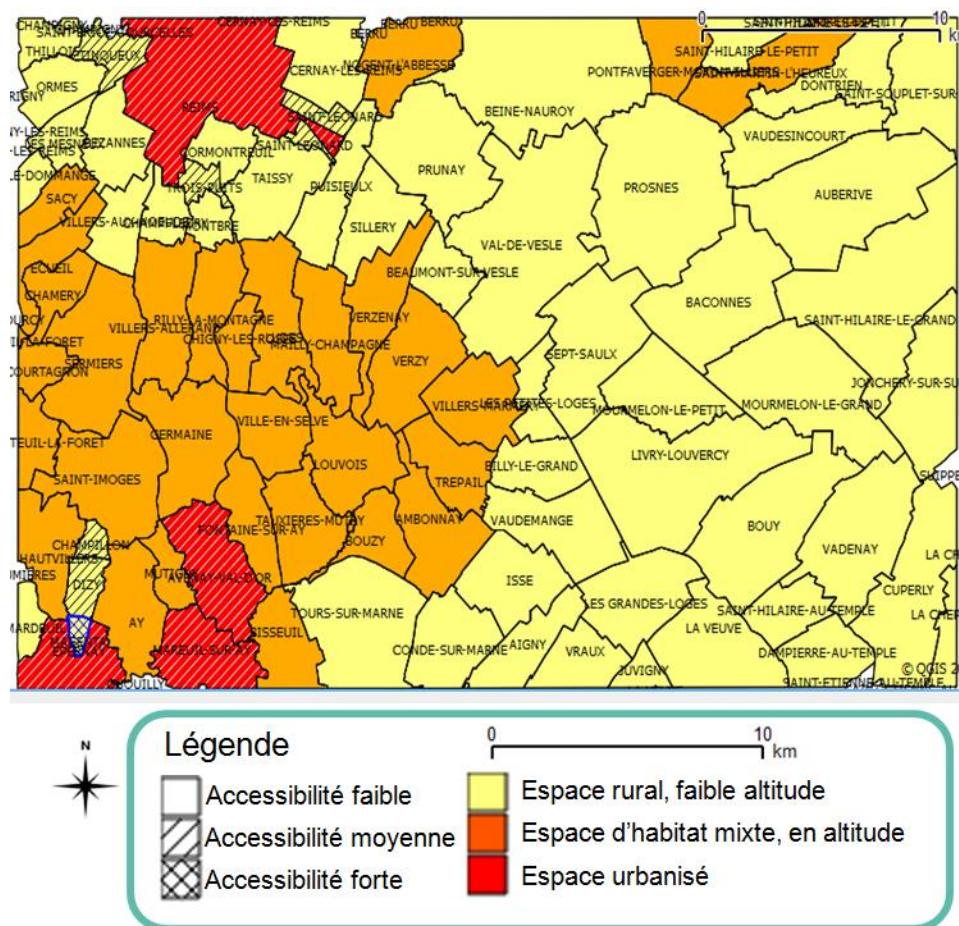


Figure 61. Répartition spatiale des classes à la fin du XVIII^e siècle (1759)

Nous verrons dans la partie destinée à l'analyse des évolutions que la présence de l'équipement dans la commune joue un rôle important dans son développement au cours des siècles.

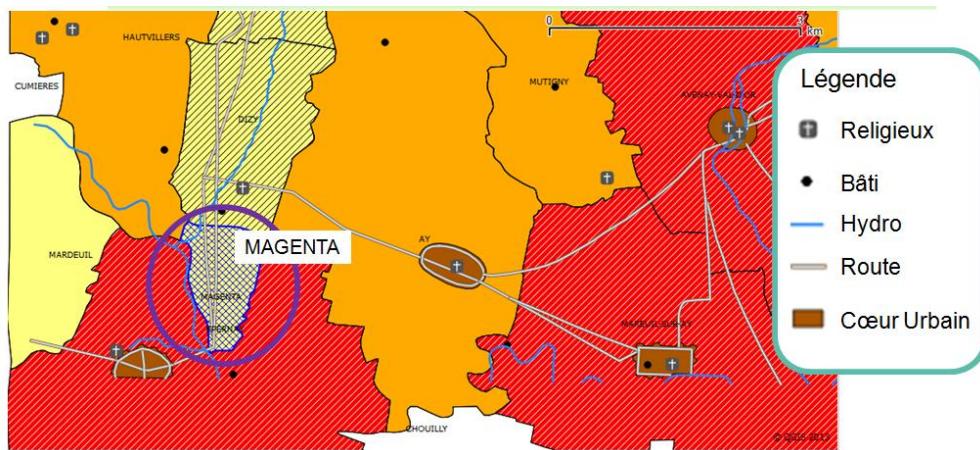


Figure 62. La commune de Magenta à la fin du XVIIIe siècle

Dès la fin du XVIIIe siècle, nous remarquons des noyaux urbains tels que Reims, Epernay, Mareuil (dans la commune Mareuil-sur-Ay) et Avenay (dans la commune Avenay-Val-d'Or), regroupés dans la classe 5 (Espaces urbanisés et d'accessibilité moyenne) ainsi que Ay classée dans la classe 4 (Espaces d'habitat mixte et accessibilité forte). Certains d'entre eux se sont développés spontanément au carrefour des routes (voir la Figure 63), au passage des rivières, souvent près d'une abbaye ou d'un château fort et sont devenues de vraies villes dont le centre urbain s'est étalé en formant les agglomérations urbaines. D'autres (Ay) sont restées des bourgs.

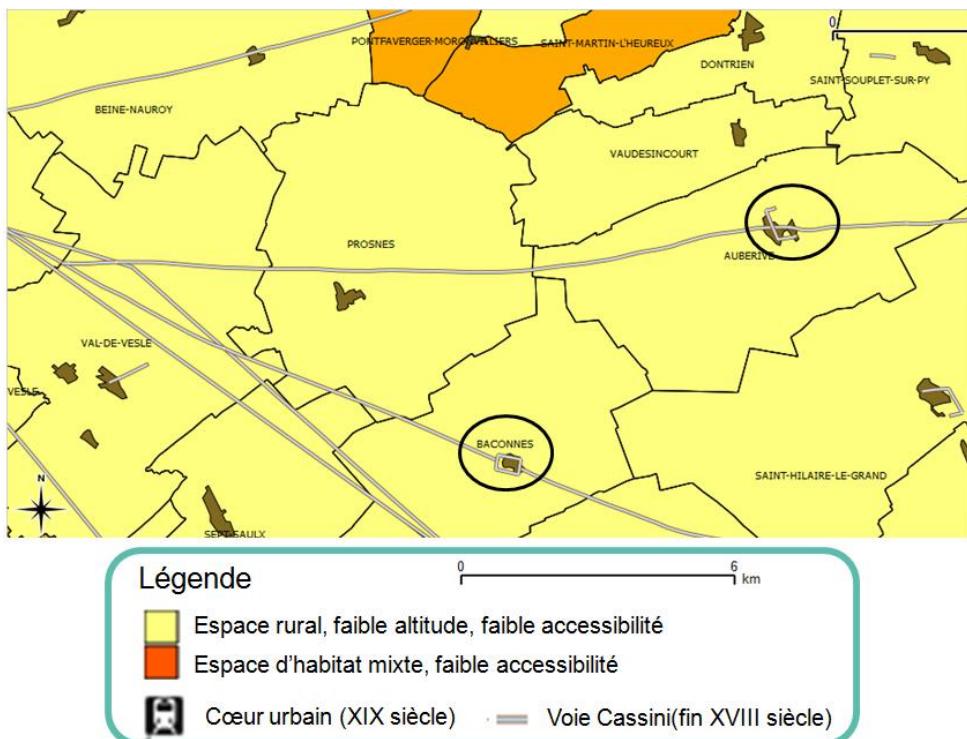


Figure 63. Exemple de bourgs qui se développent autour de voies

...à la fin du XIXe siècle

L'analyse du dendrogramme de la CAH, appliquée sur la matrice de distances, U-Matrix, nous indique une répartition en 5 classes. La répartition spatiale des classes obtenues est illustrée en Figure 64.

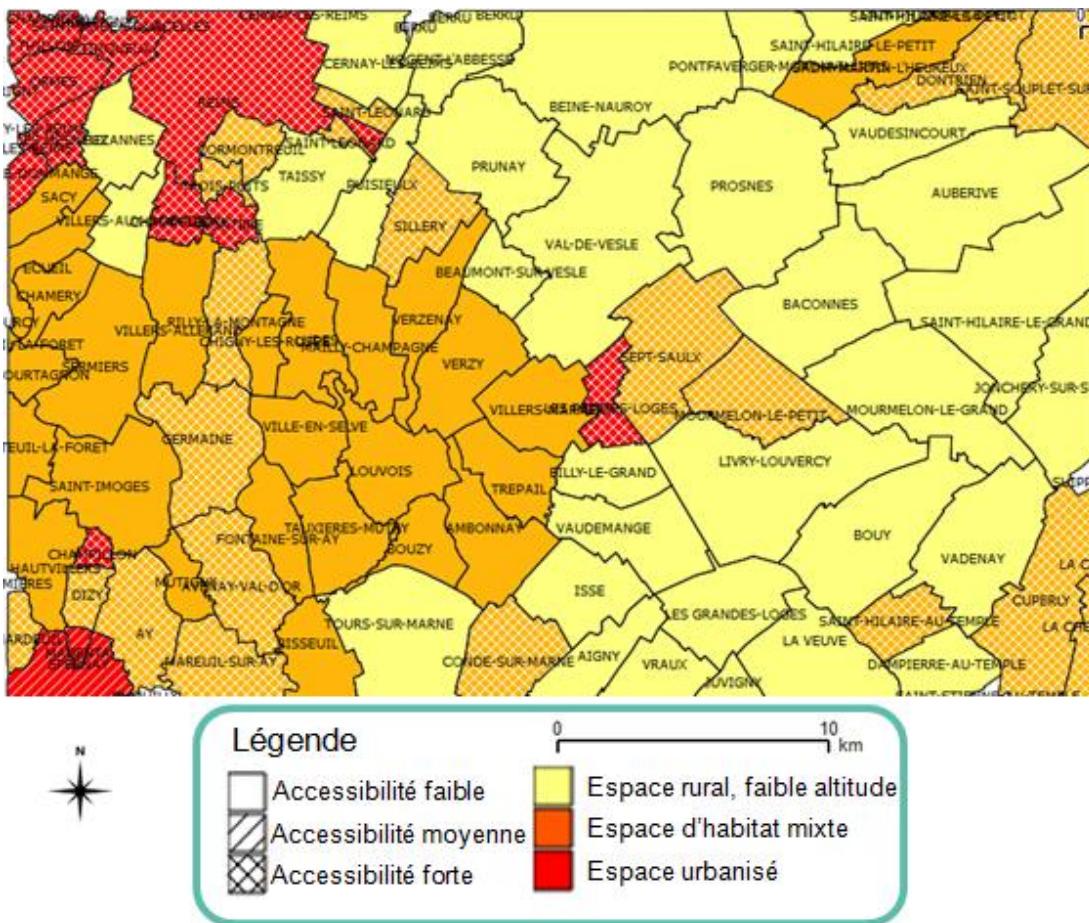


Figure 64. Répartition spatiale des classes à la fin du XIXe siècle

Les classes obtenues sont les suivantes :

1. Classe 1 : *Espace rural en faible altitude et accessibilité faible*. Ce sont les communes situées pour la plupart d'entre elles dans la plaine. Malgré le fait que certaines communes appartenant à cette classe commencent à être desservies par les voies routières et présentent des équipements, signe du développement industriel, elles restent des espaces ruraux par rapport à d'autres communes de la même zone.
2. Classe 2 : *Espace d'habitat mixte et accessibilité faible*. Cette catégorie contient les communes situées dans la montagne de Reims à l'ouest de la zone d'étude. Elles sont discriminées par l'altitude relativement importante pour la zone d'étude et un habitat mixte. Malgré la présence de routes afférentes ainsi qu'un réseau routier relativement dense à l'intérieur de certaines communes, ces espaces peuvent être considérés comme peu accessibles relativement à la zone d'étude. L'indicateur « industrie » joue également un rôle discriminant grâce au nombre important de moulins à eau.
3. Classe 3 : *Espace d'habitat mixte et accessible forte*. Cette classe est caractérisée par une très bonne accessibilité, surtout grâce au réseau ferroviaire. Leur localisation correspond au tracé ferré de la fin du XIXème siècle (voir la Figure 65).
4. Classe 4 : *Espace urbanisé et accessibilité moyenne*. Les communes contenues dans cette classe sont Epernay et Magenta. Ce sont des communes urbanisées, bien desservies et accessibles surtout par la route. Notons la présence de la voie ferrée et l'absence de desserte ferroviaire sur la commune d'Epernay.
5. Classe 5 : *Espace urbanisé et d'accessibilité forte*. Cette classe regroupe les communes urbanisées, très accessibles et actives. Il s'agit de la commune de Reims ainsi que les communes voisines, la ville de Reims jouant par conséquent un rôle polarisant. Les communes de Champillon (au nord

d'Epernay) et des Petites-Loges font également partie de cette classe. La commune de Champillon est effectivement très accessible et présente un centre urbain assez important par rapport à sa superficie, ce qui explique le résultat obtenu.

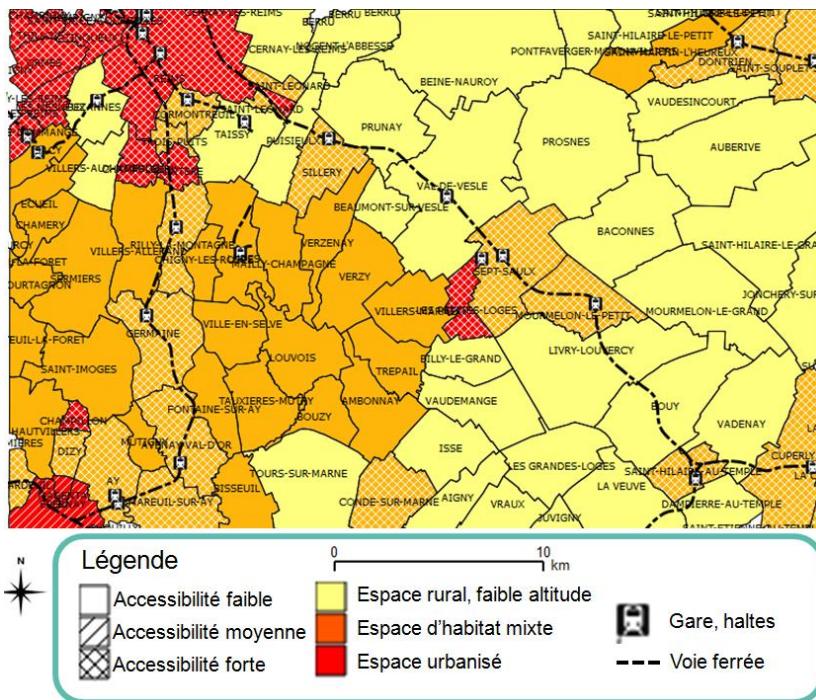


Figure 65. Représentation du réseau ferré à la fin du XIX^e siècle sur la zone de Reims (1888)

Toutes les communes étant desservies par une gare sont classées dans la même classe, à l'exception de trois communes : Bezanne, Val-de-Vesle et Taissy. En regardant la stabilité de ces communes au cours des siècles, nous remarquons qu'elles ne changent pas de classe, étant classées dans la classe « Espace rural, faible altitude, faible accessibilité ». Ces communes ont de nombreux atouts pour se développer mais cela ne se produit pas.

A la fin du XIX^e siècle, nous remarquons que le relief est un indicateur moins discriminant qu'à la fin du XVIII^e siècle et qu'au contraire, le réseau ferré joue un rôle fondamental dans l'organisation du territoire de la zone de Reims.

...au début du XXI^e siècle

Au début du XXI^e siècle, la classification en cinq classes structure le territoire de la zone de Reims de la manière suivante :

1. Classe 1 : *Espace rural, faible altitude et accessibilité faible*. Cette classe inclut la grande majorité des communes. Il s'agit des communes de faible altitude caractérisées par un habitat dispersé important et une accessibilité faible par rapport à d'autres communes de la zone au début du XXI^e siècle.
2. *Espace d'habitat mixte et accessibilité faible*. Les communes appartenant à cette classe sont les communes situées en altitude dans la Montagne de Reims.
3. *Espace d'habitat mixte et accessibilité forte*. Il s'agit des communes situées à proximité de Reims et caractérisées par un habitat mixte et une forte accessibilité.
4. *Espace urbain et accessibilité moyenne*. Cette classe contient une seule commune à savoir la commune de Magenta.
5. *Espace urbain et accessibilité forte*. Cinq communes forment cette classe : Reims, Tinqueux, au nord de la zone d'étude ainsi que Epernay, Champillon, et Dizy au sud. Ce résultat montre l'importance des deux communes Reims et Epernay qui ont un rôle polarisant dans notre zone d'étude.

La figure suivante illustre la répartition spatiale des classes sur la zone de Reims au début du XXI^e siècle.

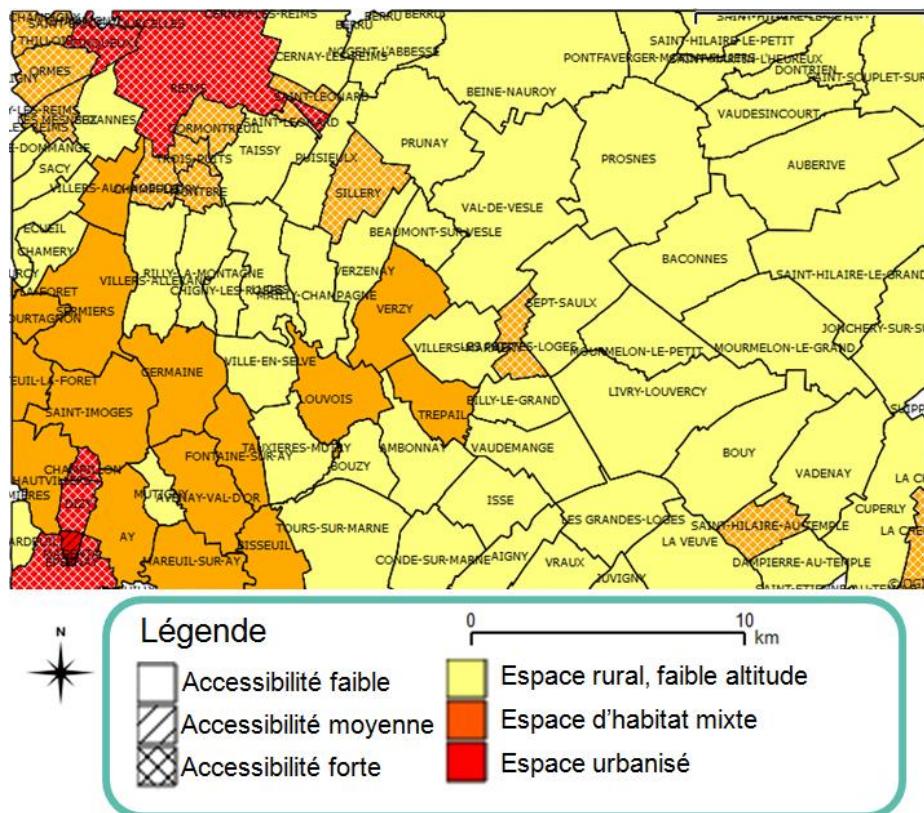


Figure 66. Répartition spatiale des classes selon la topographie au début du XXIe siècle (2011)

D'une manière générale, nous remarquons que l'influence de la voie ferrée a beaucoup diminué au début du XXIe siècle et qu'elle n'a pas apporté de dynamique assez forte pour le développement des communes desservies par les gares. Au contraire, en analysant les données nous remarquons que les gares ou haltes qui desservaient certaines communes à la fin du XIXe siècle (voir la Figure 65) ne sont plus représentées sur la carte (voir la Figure 67).

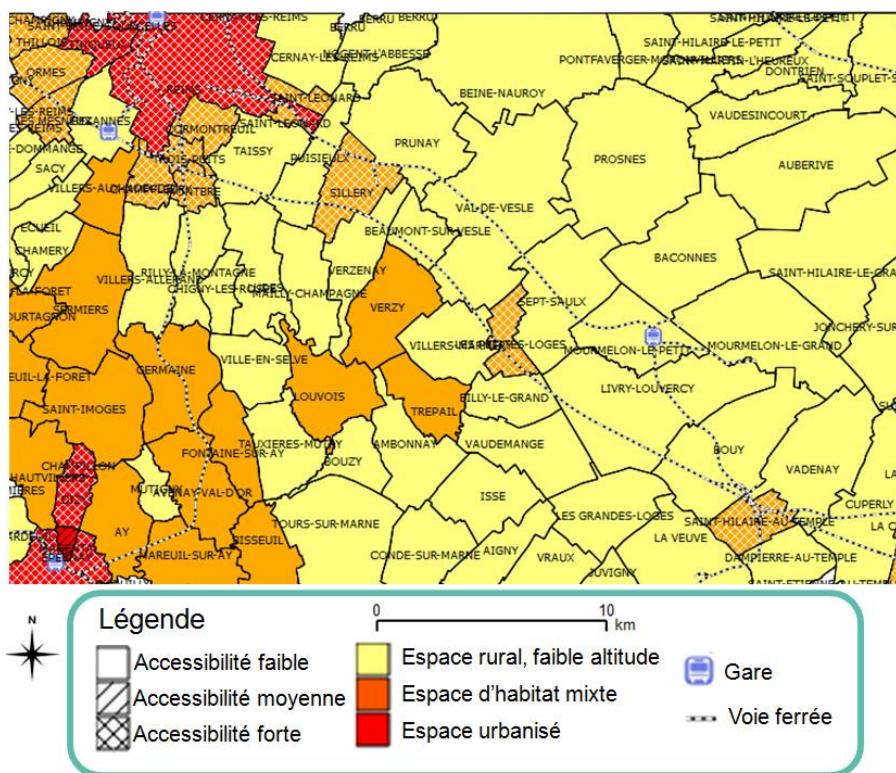


Figure 67. Représentation du réseau ferré au début du XXIe siècle sur la zone de Reims (2011)

6.1.2 Classification des communes selon la population

Comme nous l'avons expliqué précédemment, nous avons choisi les mêmes seuils pour les trois époques et trois zones (voir le Tableau 5).

La Figure 68 montre qu'à la fin du XVIII^e siècle la zone de Reims est très peu peuplée, excepté les communes de Reims, Epernay, Trois-Puits et AY. Les communes ayant une densité inférieure à 50 hab./km² sont les communes situées dans la plaine de la zone. Les communes de densité faible (classe 2) sont les communes qui bordent les villes de Reims et Epernay ainsi que certaines communes situées dans la Montagne de Reims.

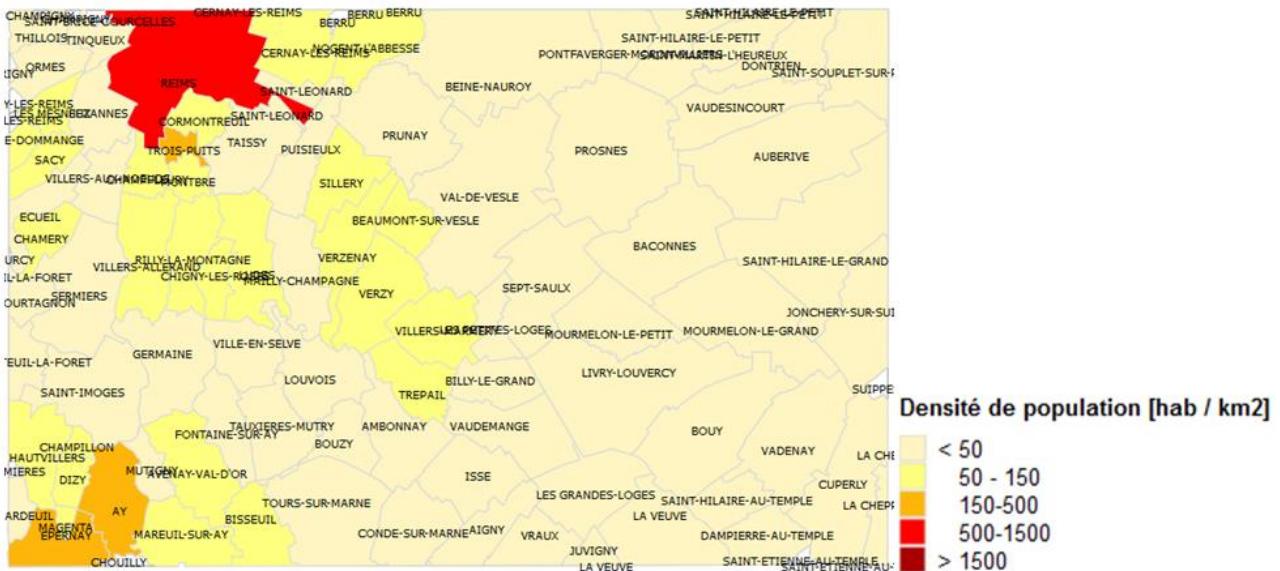


Figure 68. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XVIII^e siècle (1793)

Nous remarquons que la commune de Reims se densifie, et que dès la fin du XIX^e siècle elle atteint une densité supérieure à 1500 hab./km². Certaines communes situées entre la ville de Reims et la ville d'Epernay connaissent une faible oscillation de la densité de population. Ainsi, les communes de Verzy et Ay passent dans une classe supérieure, respectivement les classes 3 et 4, pour revenir au début du XX^e siècle (Figure 70) à la même classe (inférieure) auxquelles elles appartenaient à la fin du XVIII^e siècle.

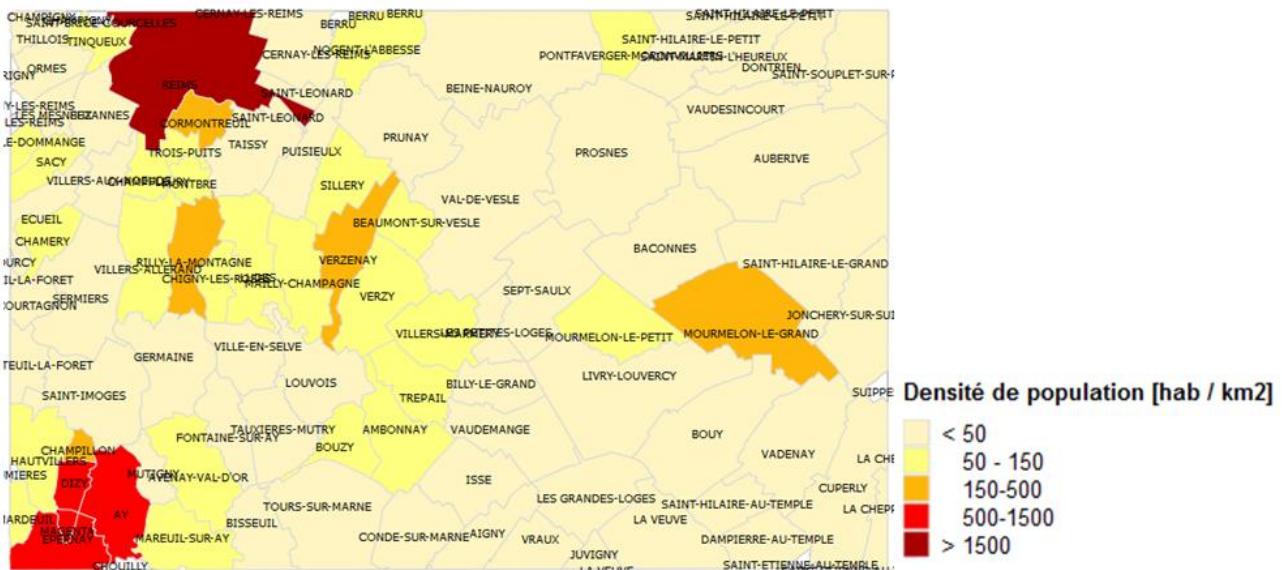


Figure 69. Répartition de la classification des communes selon la population à la fin du XIX^e siècle (1891)

La classification au début du XX^e siècle est, quant à elle, marquée par une forte croissance de la densité de population autour de Reims, créant ainsi une auréole périurbaine. D'autres communes au sud de la

commune de Reims connaissent une croissance de la population. Il s'agit des communes viticoles connues pour la production du champagne autour de la Montagne de Reims (voir la Figure 71).

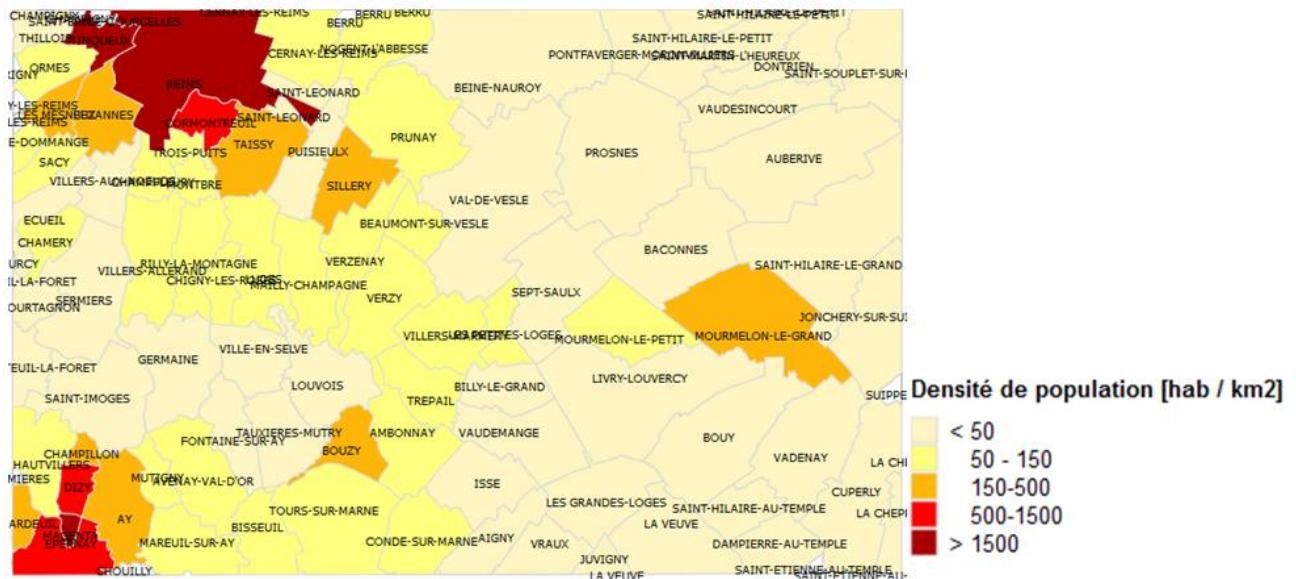


Figure 70. Répartition de la classification des communes selon la population au début du XXIe siècle (2006)

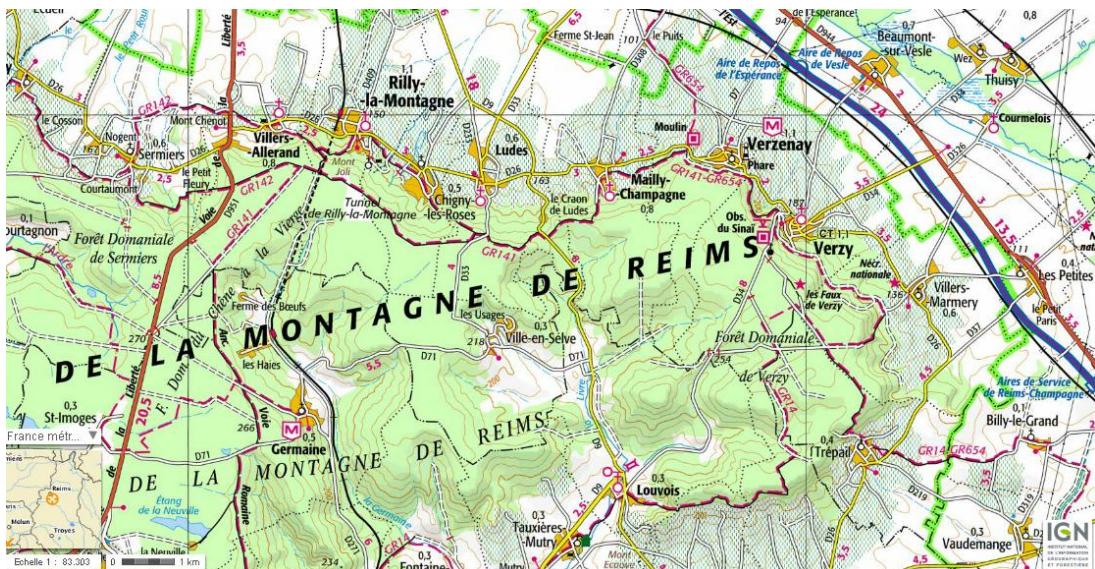


Figure 71. Extrait de carte autour de la montagne de Reims (source : Geoportail.ign.fr)

Conclusion sur la classification

D'une manière générale, la classification selon la topographie à la fin du XVIIIe siècle met en évidence d'une part un territoire assez homogène à l'est de notre zone d'étude. Les communes de Reims et d'Epernay commencent à se densifier dès la fin du XVIIIe siècle. Nous remarquons à la fin du XIXe siècle une densification des réseaux routiers qui a un impact important sur la classification des communes à cette date et qui diminue en importance au début du XXIe siècle. Contrairement à la zone de Grenoble, qui se caractérise par une polarisation autour de la métropole de Grenoble, sur la zone de Reims nous remarquons plutôt que le développement ne s'étale pas de la même manière, mais il s'amplifie au sein des communes de Reims et Epernay.

La classification selon la population montre un peuplement assez faible des communes sur la zone en général, et beaucoup plus important pour la commune de Reims. Nous n'avons pas remarqué un phénomène de dépeuplement important.

6.1.3 Mise en évidence des phénomènes locaux

La spatialisation de l'analyse des données historiques permet de mettre en évidence des phénomènes locaux, c'est-à-dire des espaces qui ont des profils ou des évolutions différentes des espaces voisins. En regardant les répartitions de différentes classifications, nous remarquons que les communes de Mourmelon-le-Grand et Mourmelon-le-Petit possèdent un profil et une évolution différente des communes voisines. Ainsi, conformément à la Figure 72, elles représentent des espaces ruraux dans la plaine, très peu peuplés à la fin du XVIII^e siècle. A la fin du XIX^e siècle, la commune de Mourmelon-le-Petit devient accessible, étant desservie par une gare, et les deux communes connaissent ensemble une augmentation de la densité de population. Ainsi, on peut se poser la question : que s'est-il passé avec ces deux communes ? En faisant des recherches, nous apprenons que la commune de Mourmelon-le-Grand est une ville militaire abritant sur son territoire l'un des plus importants camps militaires de France. Ainsi, ce phénomène local peut s'expliquer d'une part par l'implantation de la gare sur la commune de Mourmelon-le-Petit et du camp militaire sur la commune de Mourmelon-le-Grand.

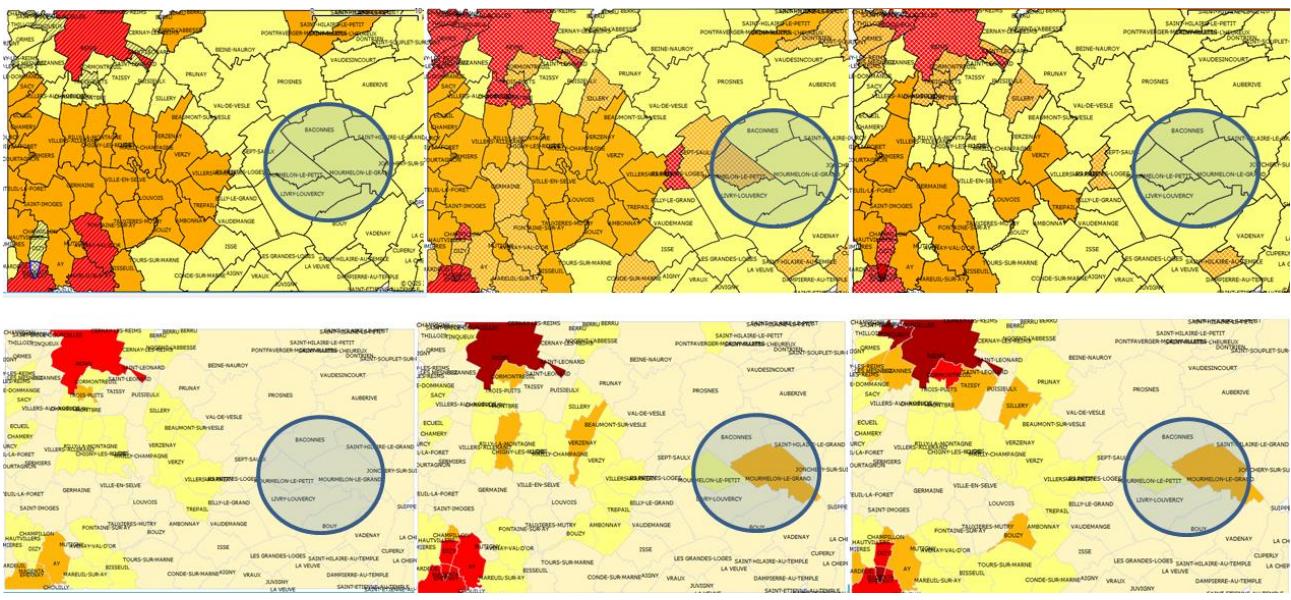


Figure 72. Exemple d'un phénomène local sur la zone de Reims : les communes de Mourmelon-le-Grand et Mourmelon-le-Petit ; répartitions des classes pour chaque époque (fin du XVIII^e siècle à gauche, fin du XIX^e siècle au milieu, début du XX^e siècle à droite) et pour chaque type d'information (la topographie en haut et la population en bas)

6.2 Analyse des évolutions

Rappelons que l'objectif de cette analyse est de déterminer si le profil d'une commune à un temps t_1 est le même qu'à un temps t_2 ou s'il a changé, c'est-à-dire que la commune a changé de classe, et s'il est possible de décrire les causalités de changement, voire de stabilité. De même que pour les zones de Grenoble et Saint-Malo, nous étudions d'une part l'évolution des communes du point de vue de la topographie, et d'autre part du point de vue de la population, enfin nous analysons les deux évolutions afin d'identifier des corrélations potentielles.

6.2.1 Evolutions de la distribution de communes par classe ...

... selon la topographie

Pour chaque époque, nous avons retenu une répartition en cinq classes. Nous avons remarqué qu'il y a des classes qui apparaissent à une époque mais qui n'apparaissent pas à une autre. Afin de définir des patterns d'évolution, nous retenons les classes suivantes :

- Classe 1 : Espace rural, faible altitude et accessibilité faible,
- Classe 2 : Espace rural, faible altitude et accessibilité moyenne,
- Classe 3 : Espace d'habitat mixte et accessibilité faible,
- Classe 4 : Espace d'habitat mixte et accessibilité forte,

Classe 5 : Espace urbanisé et accessibilité moyenne,
 Classe 6 : Espace urbanisé et accessibilité forte.

Il convient de noter que nous avons retiré de notre analyse des évolutions la classe « Espace rural en faible altitude et accessibilité élevée ». Elle est apparue une seule fois dans notre analyse (à l'époque de Cassini) et contient une seule commune, à savoir la commune de Magenta.

La distribution des communes par classe et par époque est présentée en Figure 73.

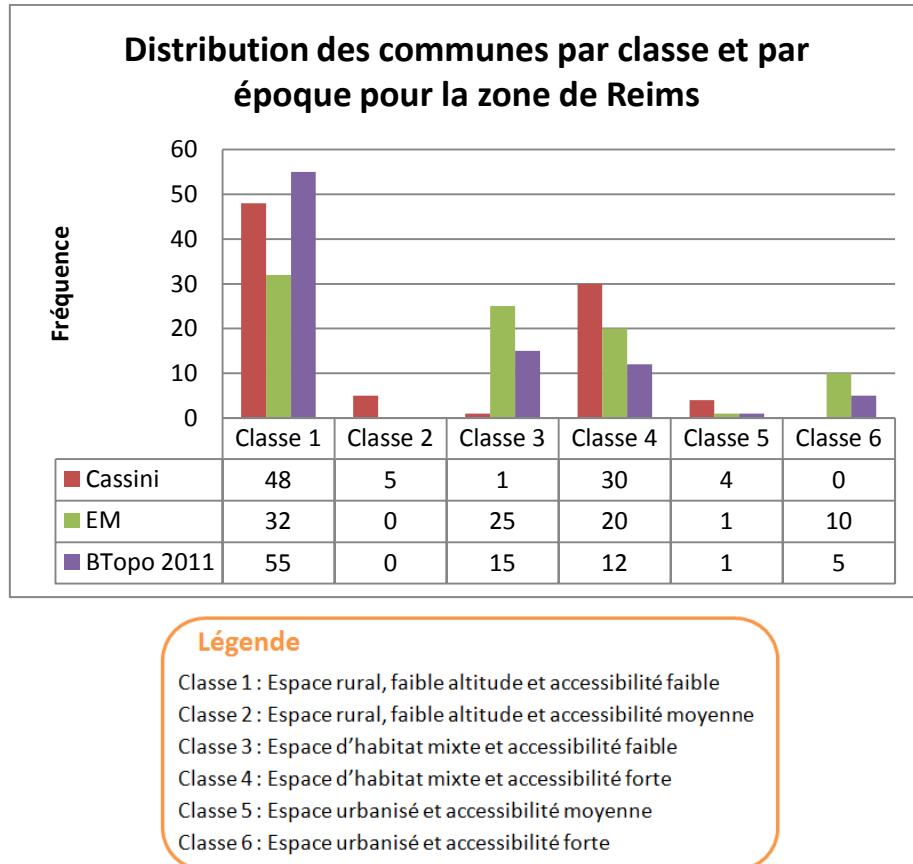


Figure 73. Distribution des communes par classe et par époque pour la classification des indices topographiques

Nous remarquons que la classe 1 est celle ayant la plus grande fréquence, quelle que soit la date, avec un pic de 55 communes (63%) au début du XX^e siècle.

La classe 2 n'est instanciée qu'à la fin du XVIII^e siècle. Elle ne regroupe que cinq communes.

La variation de l'effectif des classes 3 (habitat mixte et accessibilité faible) et 4 (habitat mixte et accessibilité forte) illustre au regard de l'accessibilité, l'hétérogénéité du territoire à la fin du XVIII^e siècle et la tendance vers une homogénéisation à la fin du XIX^e.

Notons que la classe 5, qui regroupe les communes urbanisées et moyennement accessibles, a une seule instance à la fin du XIX^e et au début du XX^e. Enfin, la classe 6 n'est pas instanciée à la fin du XVIII^e siècle, signe d'une moins forte urbanisation et accessibilité à cette époque. Elle regroupe 10 communes à la fin du XIX^e et 6 communes au début du XX^e. Ceci est un premier résultat qui montre la spécificité de cette zone à savoir que, l'urbanisation ne s'étale pas mais au contraire elle reste très localisée. Ce résultat est clairement mis en évidence grâce à la répartition spatiale des communes selon leur classe.

L'analyse de la distribution des effectifs par classe met en évidence l'effet du développement des infrastructures sur le territoire à la fin du XIX^e siècle et le fait que les communes se densifient en termes d'habitat, et de réseau routier et ferré.

... selon la population

Nous montrons maintenant l'évolution de la distribution des classes selon la population.

La Figure 74 montre la distribution des communes par classe et par époque obtenue en utilisant la densité de population pour la zone de Reims.

Nous remarquons que les classes ayant les fréquences les plus élevées sont, quelle que soit l'époque, les classes 1 et 2, montrant ainsi que la zone de Reims est faiblement peuplée : 82% des communes au XXI^e siècle, 88% des communes au XIX^e et 95% des communes au XVIII^e siècle appartiennent aux classes de faible densité. Ce résultat met en évidence une **relative** stabilité du peuplement des communes sur cette zone.

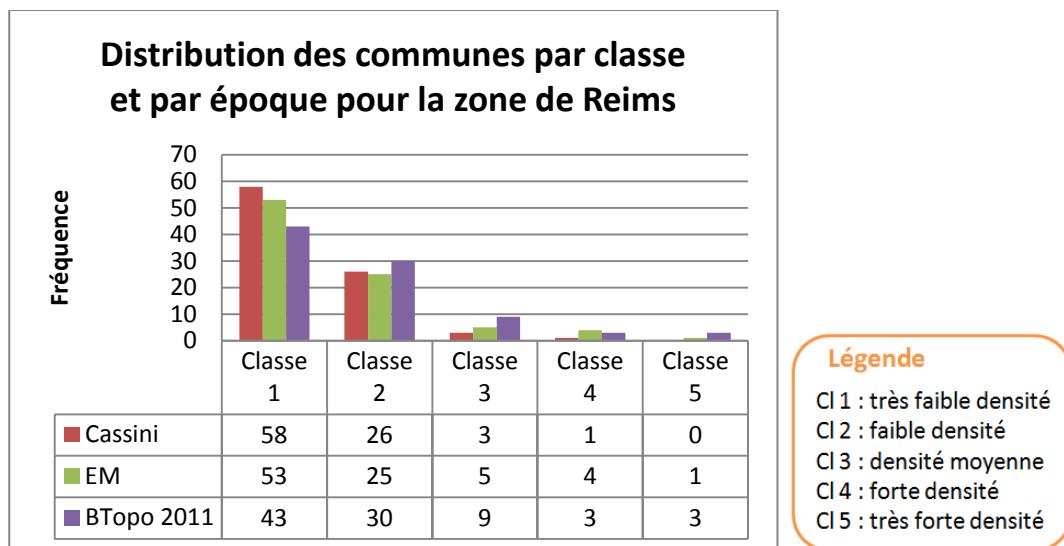


Figure 74. Distribution des communes par classe et par époque pour la classification de la population

De même que pour la zone de Grenoble, nous proposons deux types d'analyse : une analyse globale et une analyse locale.

6.2.2 Analyse globale des patterns d'évolution sur trois temporalités...

...selon la topographie

Rappelons que la trajectoire de chaque commune, que nous avons appelé pattern d'évolution, est définie par la succession des profils de la commune aux trois époques d'analyse.

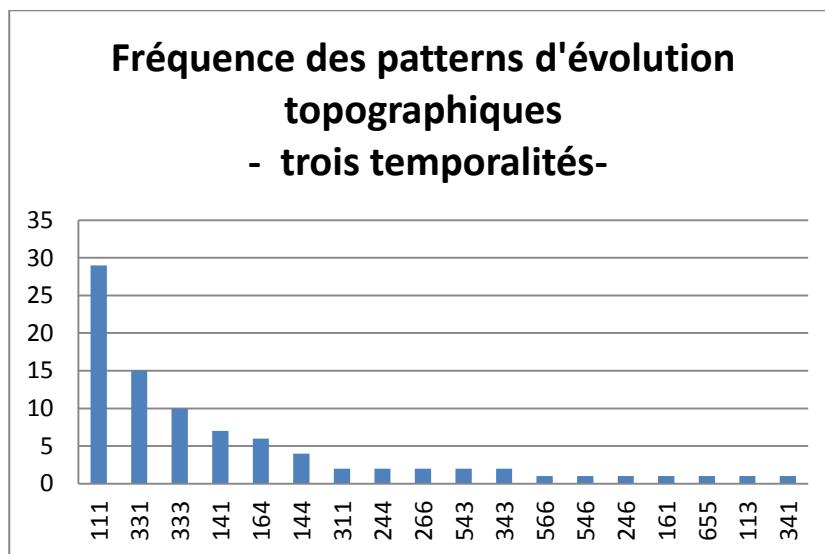


Figure 75. Fréquence des patterns d'évolution topographiques entre la fin du XVIII^e et le début du XXI^e siècle sur la zone de Reims

La Figure 75 permet d'identifier 18 types de patterns sur l'ensemble de la période d'étude dont deux patterns stables ('111', '333') et 16 patterns évolutifs. Les patterns stables caractérisent respectivement les

communes ayant un profil « rural, en faible altitude et accessibilité faible » et les communes ayant un profil « d'habitat mixte et accessibilité faible ».

Ces résultats statistiques nous conduisent à une première cartographie des patterns stables (Figure 76).

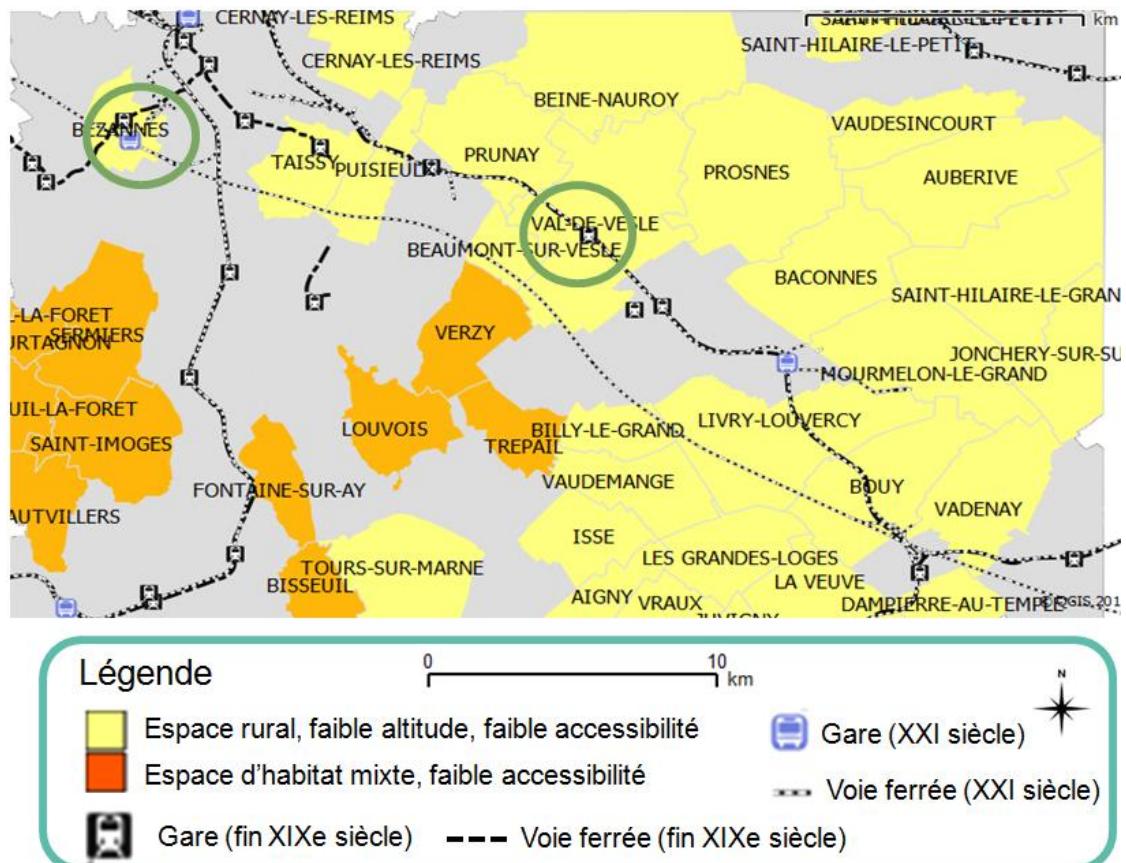


Figure 76. Répartition spatiale des patterns stables entre la fin du XVIII^e et le début du XXI^e siècle

Nous remarquons que les communes qui ont un profil stable quelle que soit la date sont les communes situées dans la plaine (pattern '111'), et celles situées entre Reims et Epernay (pattern '333'). Il convient de noter que les communes de Bezannes et Val-de-Vesle restent stables malgré le fait qu'à la fin du XIX^e siècle elles sont desservies par une gare. Dans ce cas, l'arrivée des gares n'a pas eu d'impact sur l'évolution des deux communes.

L'agrégation des patterns en fonction de leur stabilité et leur évolution ascendante ou descendante nous conduit à une deuxième typologie de patterns, dont nous illustrons la répartition spatiale dans les deux figures suivantes. Ainsi, la Figure 77 illustre par une gamme de couleurs chaudes, les communes qui ont connu un 'gain' relatif et la Figure 78 cartographie par une gamme de couleurs froides les communes ayant connu une 'perte' relative, surtout à la fin de notre période d'étude.

Le pattern le plus important (45% des communes) est celui qui représente la stabilité, c'est-à-dire que les communes ne changent pas de profil aux cours des deux siècles d'analyse. Au niveau agrégé, nous considérons les mêmes familles de 'gain' relatif soit à la fin du XIX^e siècle soit au début du XXI^e siècle, et d'autre part ceux qui connaissent une 'perte' relative à la fin de notre période d'étude, à savoir le début du XXI^e siècle.

Pour la famille de patterns représentant le 'gain' relatif (17% de communes), nous avons les types de patterns suivants :

1. Le pattern « évolution ascendante, stabilité » qui regroupe, en général, les communes de Reims, certaines communes autour de Reims et Epernay qui ont connu une densification importante en

termes soit d'équipement, soit d'habitat à la fin du XIXe siècle puis une stabilité relative au début de XXIe siècle ;

2. Le pattern « stabilité, évolution ascendante » désigne les communes qui ont connu une stabilité relative du XVIIIe au XIXe siècle et une densification de l'habitat ou de l'équipement de la fin du XIXe au début du XXIe siècle. Il s'agit de deux communes : la commune d'Epernay et la commune de Villiers-aux-Nœuds, cette dernière étant une commune voisine de Reims.
3. Enfin, les communes qui forment le pattern « évolution ascendante, ascendante » sont celles ayant connu une densification quasi continue au cours des deux siècles. Il s'agit seulement de la commune de Dizy au nord d'Epernay (voir la Figure 77).

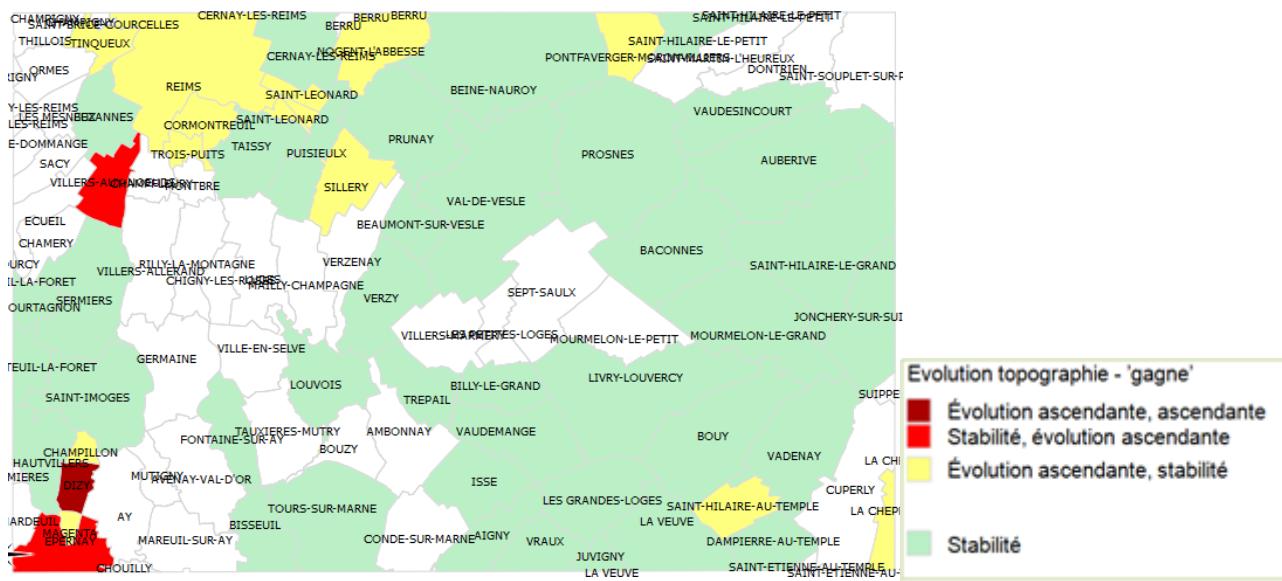


Figure 77. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la topographie – 'gain' relatif

La deuxième famille nommée de 'perte' relative, (38% de communes), est représentée par les types de patterns suivants :

1. Le pattern « évolution ascendante, descendante » caractérise la plupart de communes qui étaient bien desservies par une gare à la fin du XIXe siècle et qui ne le sont plus au début du XXIe siècle. Ceci est dû à la fermeture de certaines gares au début du XXIe siècle. Il convient de noter que le même pattern avec les mêmes caractéristiques a été retrouvé pour la zone de Grenoble. Il s'agit donc d'un fait stylisé.
2. Le pattern « stabilité, évolution descendante » est représenté par quinze communes, pour la plupart localisées dans la Montagne de Reims. Ce sont des communes qui ont connu une stabilité pour la première période, puis une 'perte' relative de leur densification, donc de leur importance.
3. Enfin, les communes qui forment le pattern « évolution descendante, descendante » sont celles qui perdent leur importance tout au long de la période d'étude. Nous remarquons par exemple, les communes de Mareuil-sur-Ay et d'Avenay-Val-d'Or qui étaient des bourgs importants à la fin du XVIIIe siècle.

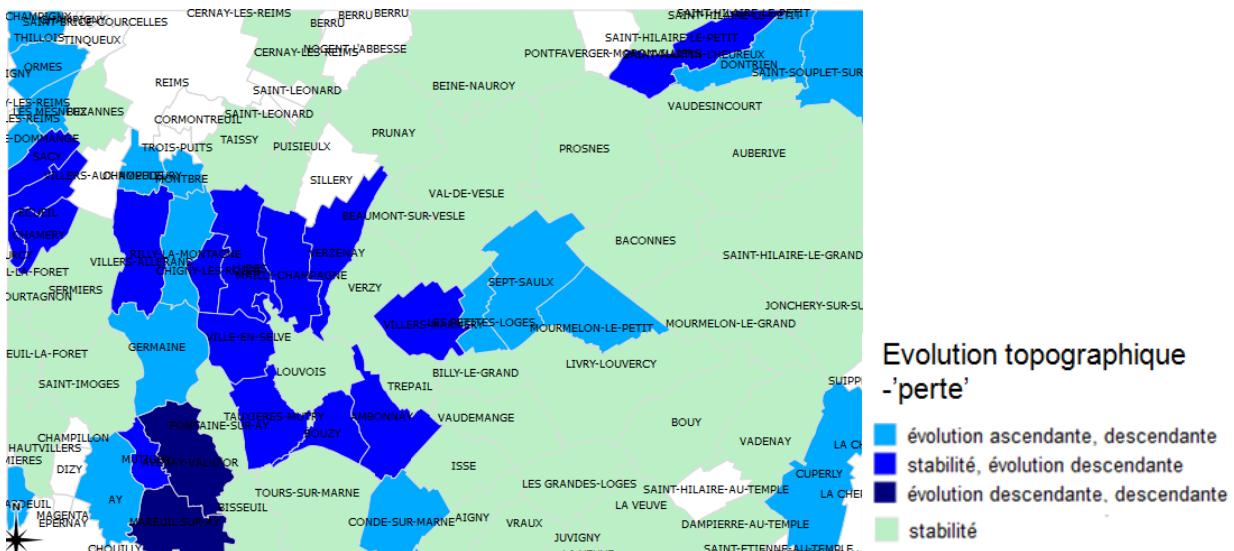


Figure 78. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la topographie – ‘perte’ relative

...selon la population-

En ce qui concerne l’évolution des communes selon la population, nous remarquons un nombre important de communes qui restent stables pendant la période d’étude : 58 communes (65%) dont 42 communes restent stables dans la classe 1 (très peu peuplé) et 16 dans la classe 2 (‘peu peuplé’).

Les distributions spatiales de deux types de famille de patterns ('gain' relatif et 'perte' relative) sont cartographiées en Figure 79 et Figure 80.

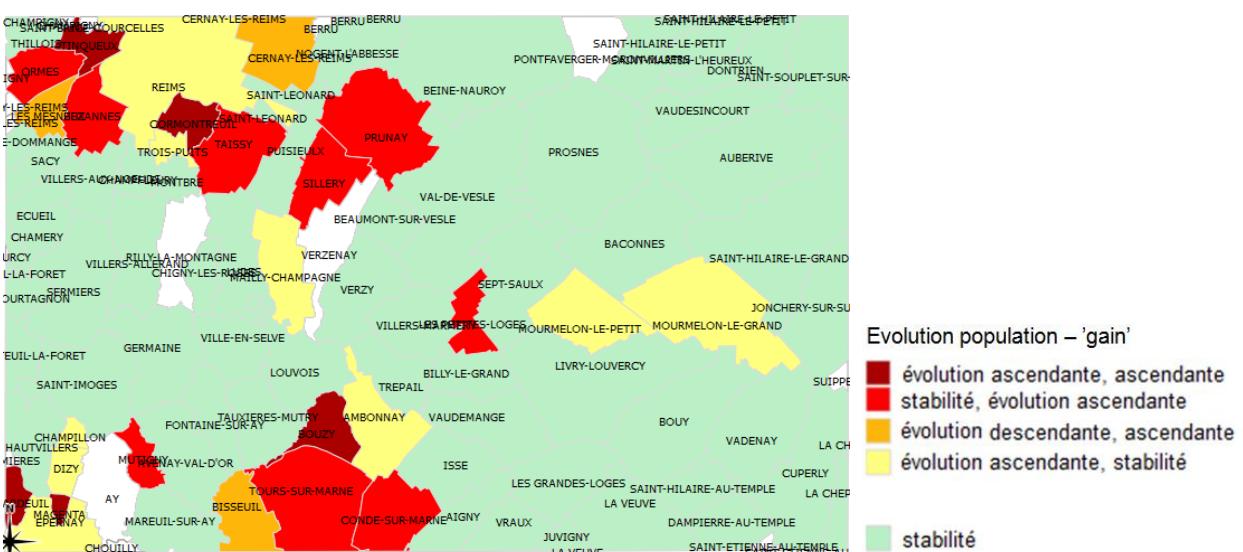


Figure 79. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la population – ‘gain’ relatif

Nous remarquons que le phénomène d'évolution ascendante est très localisé autour des communes les plus urbanisées de la zone, à savoir Reims et Epernay. Les deux communes de Mourmelon-le-Petit et Mourmelon-le-Grand, connaissant une évolution ascendante de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle puis une stabilité de la fin du XIXe siècle jusqu'au début du XXIe siècle ressortent bien sur la carte, étant entourées des communes stables pendant toute la période.

En revanche, un seul type de pattern qui illustre une ‘perte’ relative est mis en évidence sur la zone de Reims. Il s’agit du pattern ‘évolution ascendante, descendante’ qui regroupe quatre communes très dispersées sur la zone parmi lesquelles la commune de AY, qui était un bourg important au XVIIIe siècle et qui a perdu de son importance sous l'influence de la commune d'Epernay.

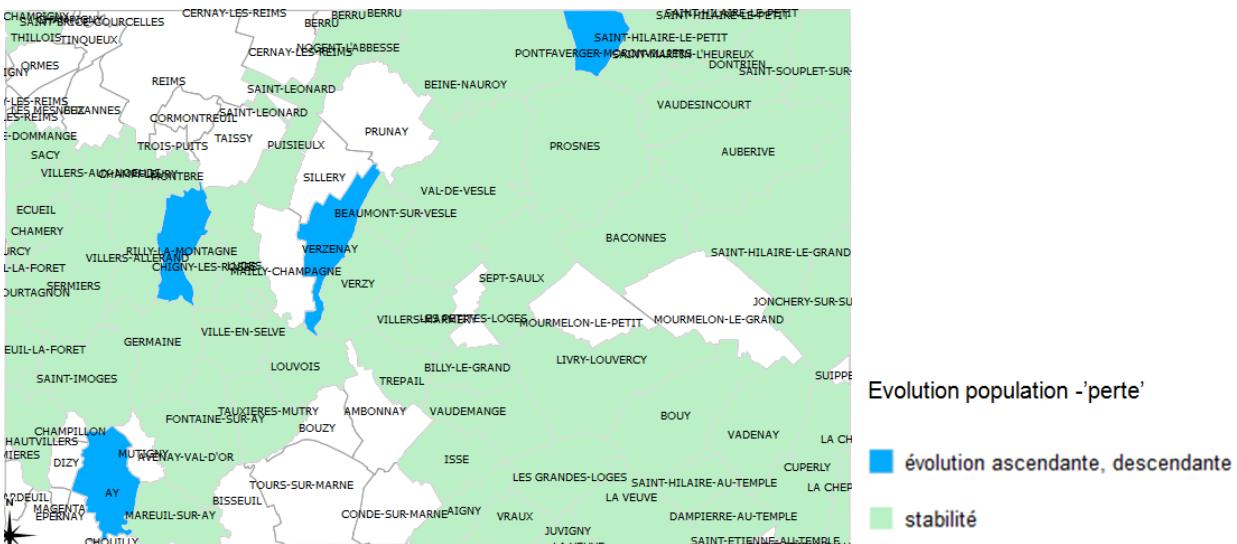


Figure 80. Répartition spatiale des typologies des patterns agrégés selon la population – ‘perte’ relative

En conclusion, l’analyse globale des patterns construits à partir des profils topographiques et démographiques a permis de mettre en évidence différents types de trajectoires. Nous avons remarqué que la stabilité, voire la ‘perte’ relative d’importance des communes, caractérisent cette zone de plaine selon la topographie. Au contraire, la stabilité voir le ‘gain’ relatif caractérise la zone d’un point de vu de la population. Ce résultat n’est pas surprenant, mettant en évidence pour l’analyse de la population le phénomène bien connu, nommé « le plein rural »(Dupâquier, 1989). Pour l’analyse de la topographie, nous mettons en évidence le fait que le territoire est plus hétérogène à la fin du XXI^e siècle et que la politique de maintenance des chemins de fer et des gares a bien changé de nos jours. Ceci est d’autant plus valable, puisque la voie ferrée a eu un rôle discriminant à la fin du XIX^e siècle pour cette zone.

6.2.3 Analyse locale des patterns d’évolution sur deux temporalités...

Rappelons que l’analyse globale des patterns d’évolution décrite ci-dessus consiste à analyser les patterns sur toute la période considérée. Une analyse plus fine des patterns, menée à une échelle locale entre deux dates consécutives, permettrait d’expliquer certaines tendances observées lors de l’analyse globale.

...selon la topographie

Pour analyser les types de changements survenus aux communes, nous avons calculé deux matrices de transition, qui mesurent respectivement les transitions de classes entre la fin du XVIII^e siècle et la fin du XIX^e siècle (voir Figure 80) et entre la fin du XIX^e et le début du XX^e siècle (voir la Figure 82).

Rappelons que la diagonale principale mesure la stabilité des classes, tandis que les parties supérieure et inférieure de la diagonale illustrent respectivement l’évolution dite ‘ascendante’ et l’évolution dite ‘descendante’.

D’après la Figure 81, un effectif de 57 communes (~64% des communes) sont stables, ne changeant pas de classe d’une époque à une autre. Cette stabilité concerne les classes 1 -« rural en altitude, accessibilité faible »- et 3 -« habitat mixte, accessibilité faible »-. Contrairement à la zone de Grenoble, pour cette période, nous remarquons une évolution ascendante importante; pour chaque classe, de deux à onze communes transitent vers une classe supérieure. L’évolution descendante, quant à elle, est beaucoup moins importante, seulement quatre communes étant concernées.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Total
Classe 1	30	0	0	11	0	7	48
Classe 2	0	0	0	3	0	2	5
Classe 3	2	0	25	3	0	0	30
Classe 4	0	0	0	0	0	0	0
Classe 5	0	0	0	2	2	2	6
Classe 6	0	0	0	0	0	0	0

Figure 81. Matrice de transition de classes topographiques de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle

Pour la période fin du XIXe siècle-début du XXIe siècle, nous remarquons en Figure 82 un nombre beaucoup moins important, comparé à la période précédente, de communes connaissant une évolution ascendante (3 communes). Par contre, rapporté à la période précédente, le nombre d'évolutions descendantes a fortement augmenté, s'élevant à 34 communes. Notons par exemple la classe 3 -« habitat mixte et accessibilité faible »- pour laquelle 15 communes sur 25 évoluent vers une classe inférieure à savoir la classe 1.

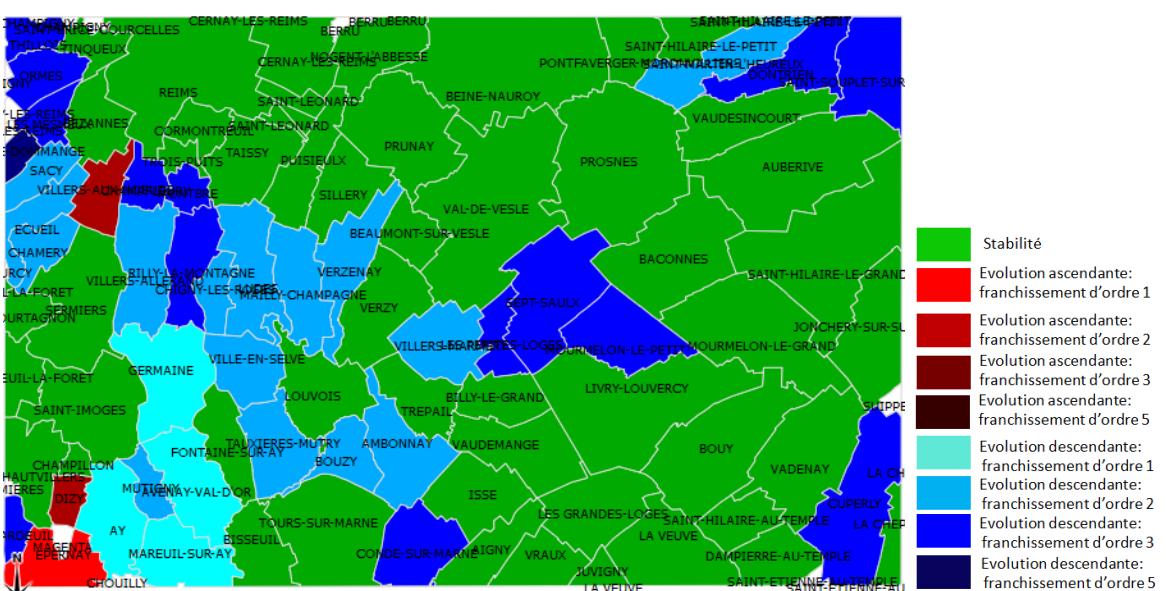
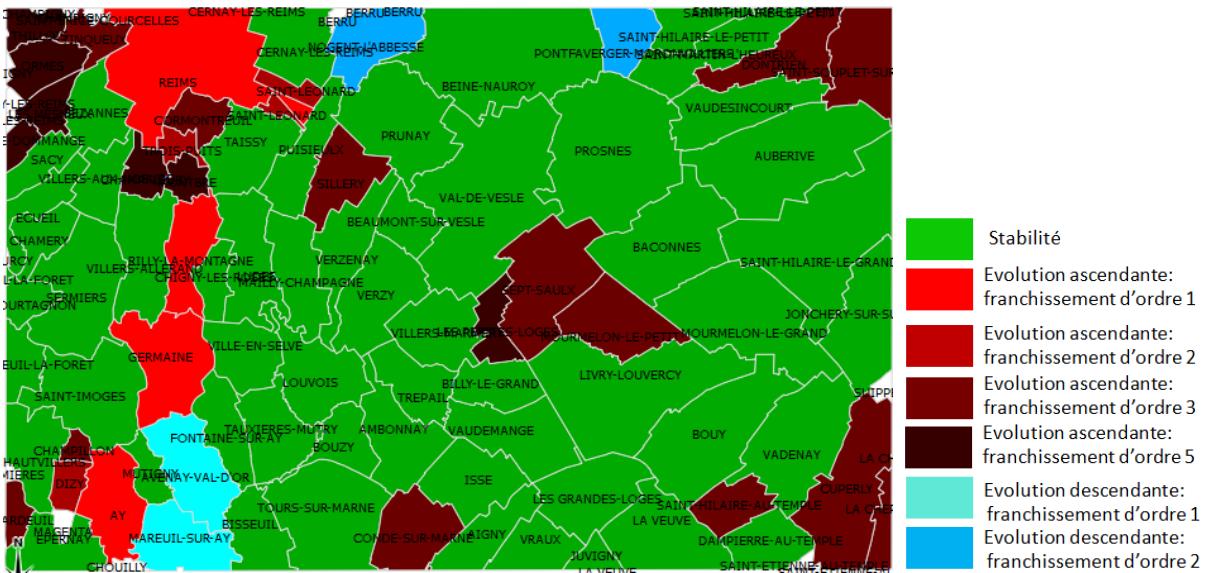
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Total
Classe 1	31	0	1	0	0	0	32
Classe 2	0	0	0	0	0	0	0
Classe 3	15	0	10	0	0	0	25
Classe 4	8	4	0	6	0	1	18
Classe 5	0	0	0	0	0	1	1
Classe 6	1	0	0	6	0	3	10

Figure 82. Matrice de transition de classes topographiques de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

Ce résultat obtenu est à l'opposé de celui que nous avons constaté sur la zone de Grenoble, ce qui montre que cette dernière a connu une urbanisation et une industrialisation importante dans les deux derniers siècles, tandis que la zone de Reims a connu un développement de l'équipement jusqu'à la fin du XIXe siècle, puis l'urbanisation s'est localisée autour des deux villes les plus importantes de la zone : Reims et Epernay.

Nous regardons maintenant le franchissement de classe afin de repérer les phénomènes spatiaux et d'identifier la vitesse de l'évolution.

La répartition spatiale des transitions pour la première période (voir la Figure 83) confirme que les évolutions ascendantes sont bien localisées, d'une part autour des villes de Reims et d'Epernay, et d'autre part, les communes ayant été desservies par une gare à la fin du XIXe siècle. Notons le franchissement d'ordre cinq pour sept communes dont six autour de Reims.



	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	50	7	1	0	0	58
Classe 2	3	17	4	2	0	26
Classe 3	0	1	0	2	0	3
Classe 4	0	0	0	0	1	1
Classe 5	0	0	0	0	0	0

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 85. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XVIIIe siècle à la fin du XIXe siècle

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	42	8	3	0	0	53
Classe 2	1	20	3	0	1	25
Classe 3	0	2	2	1	0	5
Classe 4	0	0	1	2	1	14
Classe 5	0	0	0	0	1	4

Légende

- Cl 1 : très faible densité
- Cl 2 : faible densité
- Cl 3 : densité moyenne
- Cl 4 : forte densité
- Cl 5 : très forte densité

Figure 86. Matrice de transition de classes de densité de population de la fin du XIXe siècle au début du XXIe siècle

La cartographie de la matrice de transition, illustrée en Figure 87, montre qu'elle est plutôt lente, le franchissement de classe étant d'ordre 1, voir 2 et qu'elle est liée soit à la localisation proche d'une des deux grandes villes soit à l'implantation d'une gare à la fin du XIXe siècle.

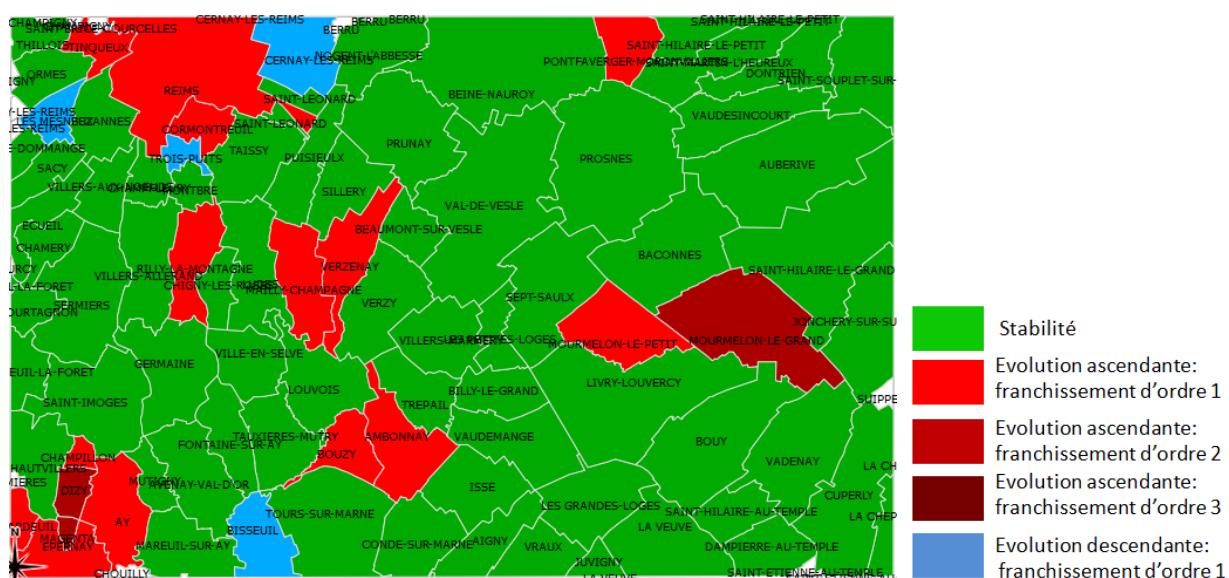


Figure 87. Répartition spatiale des transitions de classes de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XVIIIe-fin XIXe siècle

En revanche, pour la deuxième période, les communes de la première couronne de Reims sont caractérisées par une rapide croissance de la population. Notons que le pas de franchissement pour ces communes est au moins d'ordre deux. Un groupe de communes à l'est d'Epernay est également mis en évidence dans la Figure 88. Malgré nos recherches, nous n'avons pas trouvé d'hypothèse pour le peuplement de ces communes au début du XXIe siècle.

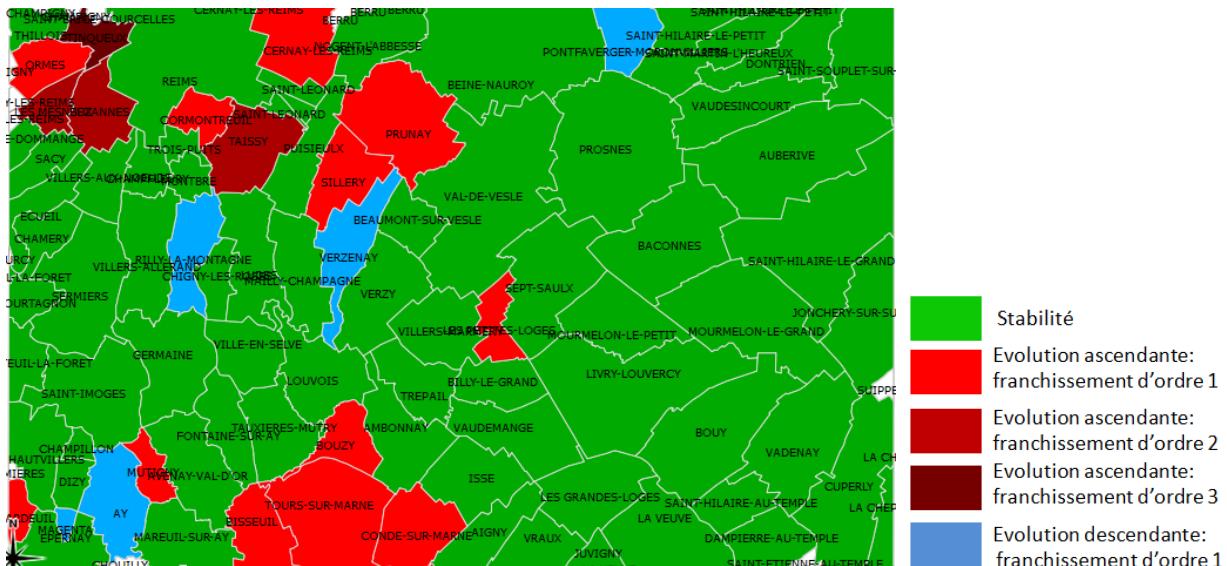


Figure 88. Répartition spatiale des transitions de classes de densité de population selon le pas de franchissement pour la période : fin XIXe siècle- début XXIe siècle

6.3 Analyse des corrélations

Dans cette partie nous nous intéressons à l'évolution démographique, administrative et topographique de communes de la zone de Reims dans le but d'établir des corrélations ou d'éventuelles tendances entre ces évolutions.

Pour étudier la corrélation nous avons appliqué la même démarche que celle décrite dans la partie 4. Les résultats des tests de corrélation entre le changement administratif et la population d'une part et le changement administratif et la topographie d'autre part sont négatifs, avec une significativité de 5%, l'hypothèse nulle n'étant donc pas rejetée.

En revanche, en ce qui concerne l'analyse des corrélations entre les profils de communes selon la population versus la topographie, le test de Khi2 a montré qu'il existe une corrélation entre les deux variables, l'hypothèse nulle étant rejetée avec une significativité de 5%. La répartition des classes, illustrée en Figure 89, selon les deux indicateurs topographique et démographique identifie :

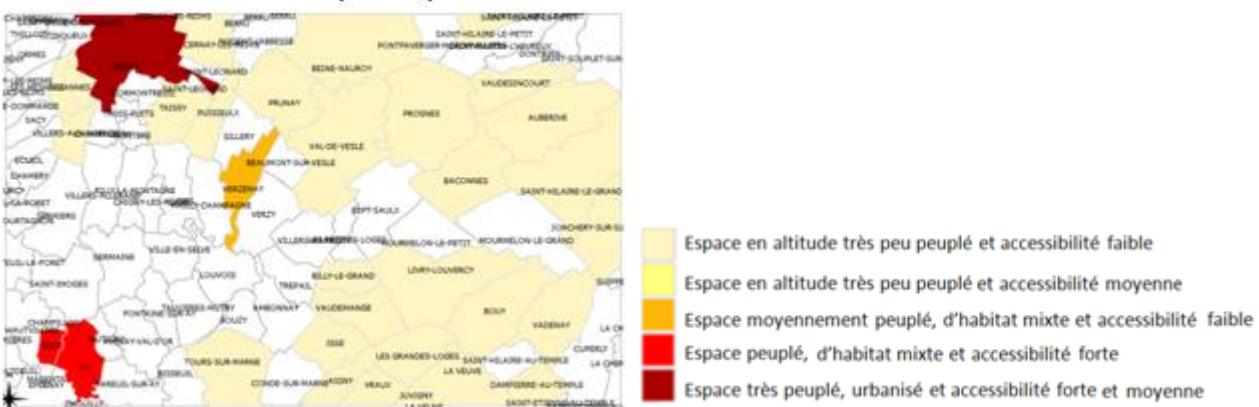
- Une corrélation entre les communes faiblement équipées ayant un profil rural et celles qui ont une très faible densité de population (couleurs neutres),
- Une corrélation entre les communes très équipées et urbanisées et celles qui ont une très forte densité de population.

Il convient de noter que la commune de Ay, a eu une évolution à part par rapport à ses communes voisines, mais son évolution topographique semble être corrélée avec son évolution démographique.

Fin XVIIIe (1759)



Fin XIXe (1888)



Début XXIe (2011)



Figure 89. Répartition des communes de la zone de Reims ayant le même profil selon la population et la topographie

Conclusion

Nous avons présenté dans ce rapport une analyse exploratoire des données topographiques et démographiques décrivant le territoire depuis la fin du XVIIIe siècle et jusqu'à nos jours. Notre objectif principal a été de proposer une méthodologie qui permet d'étudier les évolutions topographiques et démographiques au cours du temps.

Les données topographiques historiques et démographiques ont été pour produites respectivement structurées dans le cadre du projet GéoPeuple. Etant donné les caractéristiques des données mises à notre disposition, notre analyse des évolutions a été mise en œuvre à l'échelle de la commune dans ses limites d'aujourd'hui et avec un pas de temps de 100 ans environ.

Notre analyse a été réalisée en trois étapes principales : i) la classification des communes selon la

topographie et la population pour chaque zone et chaque période de temps ; ii) la construction et l'analyse des évolutions (patterns) au cours de temps ; iii) l'étude des corrélations entre les évolutions des communes selon trois critères : topographique, démographique et administratif.

D'une manière générale, notre analyse a permis de mettre en évidence des **phénomènes globaux** à l'échelle territoriale tels que l'industrialisation au début XIXe siècle pour la zone de Grenoble, l'urbanisation pour les zones de Reims et Grenoble, la périurbanisation autour de la ville de Grenoble, l'exode rural sur les trois zones d'étude, ainsi que le repeuplement de certaines communes rurales pour la zone de Grenoble.

A une échelle plus fine, l'analyse et la répartition spatiale des évolutions ont permis de mettre en évidence des **phénomènes locaux** tels que l'implantation d'une caserne militaire pour la zone de Reims, le peuplement ou le dépeuplement d'une commune dû à l'implantation respectivement à l'abandon d'une desserte ferroviaire autour de Grenoble. Les phénomènes locaux permettrait ainsi de choisir des zones d'analyses exploratoires où on a identifié qu'un phénomène a eu lieu et on cherche ensuite, par des méthodes d'analyse ou de recherche manuelle, à déterminer le type de phénomène et expliquer la causalité de ce dernier.

Pour les trois zones, nous avons remarqué l'importance des noyaux urbains anciens (dès la fin du XVIIIe siècle). Certains d'entre eux se développent devenant des grandes villes, d'autres restent des bourgs jusqu'à nos jours. Même, si le résultat n'est pas surprenant, notons la mise en évidence de l'importance de la voie ferrée à la fin du XIXe siècle. L'implantation et l'abandon des gares ou haltes ont eu un grand impact dans le développement d'une commune.

Nous avons également mis en évidence des faits stylisés, c'est-à-dire que les mêmes évolutions ont eu lieu dans la même période et pour plusieurs zones d'analyse. Par exemple, pour toutes les zones d'étude la fermeture de certaines gares au début du XXIe siècle a comme effet la perte d'importance de ces communes et la stagnation de leur développement.

Concernant la corrélation, nous avons n'avons pas trouvé de corrélations entre l'évolution des communes selon la topographique et le changement administratif ; de la même manière aucune corrélation n'a été trouvée entre l'évolution de communes selon la population et le changement administratif. En revanche, nous avons trouvé une corrélation ou plutôt une tendance de corrélation entre l'évolution topographique et celle de la population. Ainsi, d'une manière générale, les communes faiblement équipées et celles qui ont une très faible densité de population ainsi que les communes très équipées et celles qui ont une très forte densité de population ont la même évolution. Il serait intéressant d'étudier davantage l'évolution des communes en s'appuyant sur l'analyse du taux d'urbanisation versus le taux de densification de la population.

L'unité spatiale de notre analyse a été la commune dans ses limites actuelles pour laquelle nous avons calculé des indicateurs topographiques et démographiques. Si pour les indicateurs topographiques, le choix d'utiliser des limites actuelles ne pose pas de problèmes particuliers, en revanche pour les indicateurs démographiques cela peut introduire un biais dans l'analyse. Ce biais concerne surtout les communes qui ont connu des changements administratifs tels que la fusion, la scission des parcelles au cours du temps ou encore la création tardive d'une commune à partir d'autre(s) commune(s). Nous avons été confronté ainsi à un problème de désagrégation de la population que nous avons résolu cas par cas, en fonction du type de changement administratif. Il serait ainsi utile de travailler davantage sur la désagrégation de cet indicateur et de proposer un modèle statistique afin de valider les fonctions de désagrégation et de mesurer le taux d'erreur. Ce type d'analyse n'a pas pu être mis en place dû au nombre très faible d'individus (communes) de notre étude, qui n'est pas assez significatif.

Enfin, l'analyse exploratoire que nous avons réalisée, nous a permis de faire sortir des phénomènes globaux et locaux. Il serait intéressant d'aller plus loin dans l'analyse afin de déterminer les causalités des phénomènes, des changements voire des stabilités.

Bibliographie

- Association Musée grenoblois des sciences médicales (AMGSM), 2004, Vaincre la tuberculose, un fléau en Isère au XXe siècle, Numéro spécial, Musée Grenoblois des sciences médicales, Grenoble, 91p.
- Comber A., Ficher, P. et Wadsworth, R., 2004, Integrating land cover data with different ontologies : identifying change from inconsistency, IJGIS, vol.18, n°7, p. 691-708.
- Couronné, T., Olteanu-Raimond, A-M., Smoreda, Z., 2011, Looking at spatio-temporal city dynamics through mobile phone lenses, in IEEE International Conference of Network of the Future, Paris, France, 28-30 novembre 2011.
- Dupâquier, J. 1989, *Le plein rural en France*, In: Espace, populations, sociétés, Numéro spécial, vol 20, doi : 10.3406/espos.1989.1341, p. 349-356.
- Fusco, G. et Cagliani, M., 2011, *Hierarchical Clustering through Spatial Interaction Data. The Case of Commuting Flows in South-Eastern France*, in Computational Science and Its Applications - ICCSA 2011, Springer Berlin Heidelberg, ed. Murgante, Beniamino and Gervasi, Osvaldo and Iglesias, Andrés and Taniar, David and Apduhan, BernadyO., vol. 6782, doi : 10.1007/978-3-642-21928-3_10, p. 135-151.
- Hagenauer, J. et Helbich, M. 2013, *Hierarchical self-organizing maps for clustering spatio-temporal data*, International Journal of Geographical Information Science.
- Jorré, G., 1921, *L'établissement des routes dans le massif du Vercors*, In: Revue de géographie alpine, Tome 9 N°2. p. 229-284.
- Kohonen, T., 1982, Analysis of a simple self-organizing process. Biol. Cybern., 44(2), p. 135-140.
- Kohonen, T. , 2001, Self Organizing Maps. Springer.
- Nahassia, L., Plumejeaud, C., 2012, Analyse des évolutions des données topographiques et démographiques de la carte de Cassini à nos jours. Rapport du projet GéoPeople.
<http://geopeople.ign.fr/documents/rapports/L4.2%20-%20version1%20Analyse%20des%20%C3%A9volutions%20des%20donn%C3%A9es%20topographiques%20et%20%C3%A9mographiques%20de%20la%20carte%20de%20Cassini%20%C3%A0%20nos%20jours.pdf>
- Plumejeaud, C., 2012, *Présentation des données*. Rapport du projet GéoPeople,
<http://geopeople.ign.fr/documents/rapports/L2.0-2%20Pr%C3%A9sentation%20des%20donn%C3%A9es.pdf>
- Plumejeaud, C. et Vouloir, M-C., 2012a, *Contenu de la carte de Cassini et sa modélisation en vu de sa vectorisation*. Rapport du projet GéoPeople, téléchargeable en ligne :
<http://geopeople.ign.fr/documents/rapports/L2.1-2%20Contenu%20de%20la%20carte%20de%20Cassini%20et%20sa%20mod%C3%A9lisation%20en%20vue%20de%20sa%20vectorisation.pdf>
- Plumejeaud, C. et Vouloir, M-C., 2012b, *Contenu de la carte d'Etat-Major et sa modélisation en vu de sa vectorisation*. Rapport du projet GéoPeople, téléchargeable en ligne :
<http://geopeople.ign.fr/documents/rapports/L2.1-3-v2%20Contenu%20de%20la%20carte%20de%20d%E2%80%99%C3%89tat-Major%20et%20sa%20mod%C3%A9lisation%20en%20vue%20de%20sa%20vectorisation.pdf>
- Plumejeaud, C. et Le Bras, H., 2012, *Intégration des données démographiques et administratives*, Rapport du projet GéoPeople, <http://geopeople.ign.fr/documents/rapports/L2-3.4-IntegrationDonneesDemographiques-Final.pdf>
- Pumain D. et Saint-Julien T., 2010, *Analyse spatiale : les interactions spatiales*. Paris, A. Colin, coll. Cursus, 191 p.
- Vesanto, J., Himberg, J., Alhoniemi, E. et Parhankangas, J., 2000, *Self-Organizing Map in Matlab : the SOM Toolbox*, In Proceedings of the Matlab DSP Conference, p. 35-40.