

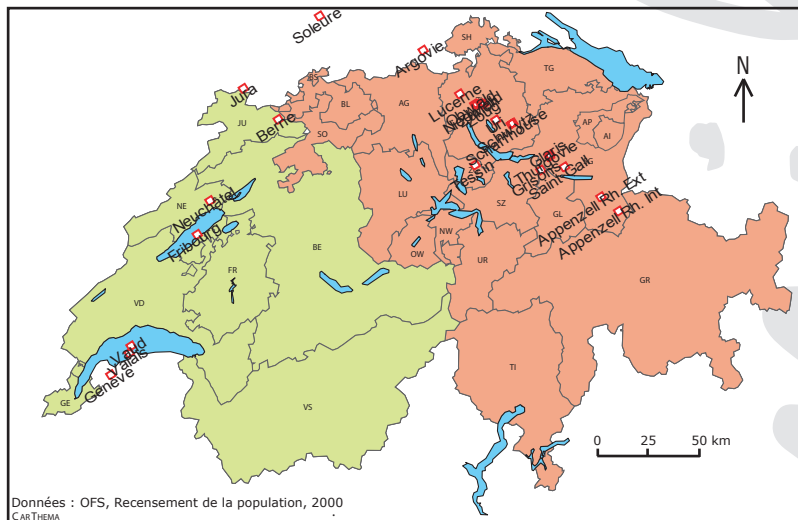
Mémoire de licence en géographie

Reconstruire l'espace géographique à partir de flux : le cas des pendulaires intercantonaux en Suisse

Alexandre Schelling

Sous la direction du Prof. François Bavaud

Expert Christophe Mager



En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

En premier lieu, je tiens à remercier particulièrement le Professeur François Bavaud, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et d'une grande disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. L'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer ont largement contribué à l'achèvement de ce travail.

J'adresse également un grand merci à Christophe Mager pour son œil avisé en tant qu'expert.

À chaque personne, qui de près ou de loin, a contribué à l'élaboration de ce travail.

À l'ensemble de ma famille pour son soutien durant cette année particulièrement difficile.

À Gabriel pour ses remarques pertinentes sur l'ensemble de ce mémoire.

À mon épouse Sandra, dont la présence me permet d'avancer.

Table des matières

1. PROBLÉMATIQUE.....	5
2. INTRODUCTION.....	7
2.1 LA GÉOGRAPHIE ET L'ESPACE.....	7
2.1.1 L'espace géographique.....	7
2.1.2 La distance.....	7
2.2 ANALYSE SPATIALE : NOTIONS ET CONCEPTS FONDAMENTAUX.....	8
2.2.1 L'interaction spatiale.....	8
2.2.2 Les flux	9
2.3 LA GÉOGRAPHIE ET LES MÉTHODES MATHÉMATIQUES.....	10
3. TECHNIQUES DE RECONSTRUCTION SPATIALE.....	11
3.1 LE MDS (MULTIDIMENSIONAL SCALING).....	11
3.1.1 Origine et but du positionnement multidimensionnel.....	11
3.1.2 Les dissimilarités.....	12
3.2 LA FGR (FACTORIAL GEOGRAPHIC RECONSTRUCTION).....	16
3.3 LA DÉCOMPOSITION SPECTRALE.....	17
4. LES DONNÉES.....	18
4.1 RECHERCHE ET TRAITEMENTS DES DONNÉES.....	18
4.2 LE CHOIX DU NIVEAU HIÉRARCHIQUE.....	19
4.3 SOURCES DES DONNÉES.....	20
5. LA PENDULARITÉ EN SUISSE.....	22
5.1 DÉFINITION DE LA CATÉGORIE «PENDULAIRE».....	22
5.2 VUE D'ENSEMBLE DE LA PENDULARITÉ DE 1990 À 2000.....	22
5.3 LES CONSÉQUENCES SPATIALES DE L'ÉVOLUTION DE LA PENDULARITÉ EN SUISSE.	23
5.4 SOLDES PENDULAIRES INTERCANTONAUX ET PENDULAIRES FRONTALIERS.....	23
5.5 MISE EN CARTES DES INDICES DE PENDULARITÉ.....	27
5.5.1 L'indice «RES»	29
5.5.2 L'indice «RII».....	31
5.5.3 L'indice «FRONT».....	33
5.5.4 évolution pendulaire intercantonale entre 1990 et 2000	35
6. RECONSTRUCTION PAR FGR.....	36
6.1 SORTIES GRAPHIQUES ET ANALYSES DES RÉSULTATS.....	36
6.1.1 Remarques sur la production des graphiques.....	36
6.1.2 Scree plot des valeurs propres.....	36
6.1.3 Pourcentage cumulé des valeurs propres.....	37
6.1.4 Reconstruction et analyse des résultats.....	38
6.2 CONTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE CES RECONSTRUCTIONS.....	47
7. MODIFICATIONS DES DONNÉES.....	48

7.1 TESTS SUR LA DIAGONALE DE LA MATRICE 2000.....	48
7.1.1 Scree plot : matrice des pendulaires 2000 (sans diagonale).....	48
7.1.2 Pourcentage cumulé des valeurs propres.....	50
7.1.3 Reconstruction de l'espace (diagonales modifiées).....	50
7.2 AJOUT DES PENDULAIRES FRONTALIERS.....	54
7.3 CLASSIFICATION ASCENDANTE HIÉRARCHIQUE (CAH).....	55
7.3.1 CAH sur les coordonnées 2000	55
7.3.2 CAH sur les coordonnées 2000 (sans diagonale).....	56
7.3.3 CAH sur les coordonnées 2000 (nombre réduit de facteur).....	57
8. CONCLUSION.....	59
ANNEXES.....	61
BIBLIOGRAPHIE.....	72

1. Problématique

La géographie humaine est une branche pluridisciplinaire, en effet elle s'associe de façon très complémentaire avec de nombreuses autres voies d'études, comme les sciences sociales, la statistique, finalement avec toutes les branches qui cherchent à découvrir et/ou révéler des informations relatives aux lieux, aux territoires. Les méthodes mathématiques sont un outil extrêmement précieux pour le géographe. Elles permettent notamment de vérifier par le calcul des théorèmes que le chercheur se pose en amont. Au-delà de la vérification, les statistiques peuvent ouvrir d'autres horizons et poser des questions auxquelles nous n'aurions peut-être pas pensé sans avoir recours à ces méthodes.

Le lien qui unit la géographie et les méthodes mathématiques possède dès lors ce double intérêt d'être à la fois un testeur, un vérificateur de théorie, et à la fois le point de départ d'autres questions, de raisonnements, de futures découvertes géographiques.

Depuis de nombreuses années, les progrès informatiques permettent sans cesse d'accroître les expériences dans ce domaine (Pumain & Robic 2002). Suite à un intérêt croissant pour les méthodes mathématiques et la statistique, de nouveaux besoins informatiques ont vu le jour, permettant à leur tour, de nouvelles perspectives de recherches. Les ordinateurs sont capables de mettre en œuvre une puissance de calcul telle, que le temps qu'il aurait fallu à l'homme pour le calculer sans son aide, se réduit à quelques secondes. Les ordinateurs ont dès lors rendu possible l'utilisation de méthodes, auparavant difficilement applicables.

La géographie contemporaine utilise de nombreuses notions liées à l'interaction spatiale, et il n'est pas rare de trouver des travaux testant la validité de tels concepts. Nous pouvons par exemple vérifier que des données de flux confirment les hypothèses basées sur le modèle gravitaire (Tuia, Bavaud 2007). La friction de la distance est un élément essentiel des phénomènes d'interaction spatiale, mais il existe toutefois des flux qui ne sont pas influencés par cette friction, ce serait le cas pour des flux de courriels. Ce qui ressort des travaux ayant trait à l'interaction spatiale, est que l'espace est généralement utilisé comme concept premier, les flux étant réduits à un concept dérivé.

Dans ce travail, nous suivrons le chemin inverse. En partant des flux (ici nous utiliserons des pendulaires intercantonaux), nous désirons voir s'il est possible de reconstruire l'espace géographique, ou du moins obtenir une esquisse d'espace. En travaillant ainsi, nous espérons obtenir une représentation de l'espace qui se rapproche le plus possible de la réalité géographique, permettant aux flux de devenir le concept premier déterminant pour construire l'espace.

Le positionnement multidimensionnel (multidimensional scaling (MDS) en anglais), est une méthode utilisée pour représenter dans un espace à faible dimension, des objets pour lesquels seule une matrice de similarité ou de dissimilarité est disponible (Borg & Groenen 1997).

Plutôt que de faire un MDS de façon classique, nous avons décidé de suivre une voie légèrement différente qui arrive toutefois au même résultat. Cette méthode que nous appellerons FGR (factorial geographic reconstruction) nous est proposée le Professeur F. Bavaud, et vise à passer par une matrice de flux symétrisés pour obtenir des coordonnées (Bavaud 2006a).

Il existe certaines conditions que nous verrons plus loin (chapitre 3) pour pouvoir appliquer la méthode. Les données de flux pendulaires remplissent tout à fait ces exigences, et sont souvent plus faciles à obtenir que d'autres données. Les 26 cantons suisses constituent un échantillon exhaustif qui convient bien pour tester la méthode.

Dès lors que nous choisissons de travailler avec des données, il est nécessaire de montrer l'intérêt géographique que peut avoir un tel travail. En effet, l'application de la méthode, bien qu'elle constitue une partie importante de cette étude, n'est pas à elle seule le moteur motivant ce projet. Il est important de pouvoir faire ressortir de ce travail des informations géographiques concernant les pendulaires. Que peut bien apporter le résultat d'une FGR pour le géographe qui l'utilise? Pourra-t-il en tirer des observations utiles dans sa recherche de compréhension sur les phénomènes des migrations quotidiennes? Nous avons dû nous poser toutes sortes de questions en amont de ce travail, réfléchir à son utilité, sa légitimité en quelque sorte.

Puisqu'à l'instar d'un MDS, une FGR permet de découvrir des coordonnées à partir de flux, que pouvons-nous attendre d'une telle application? Bien que le fait de générer une carte de distances à partir de flux soit en lui-même une expérience intéressante du point de vue méthodologique, ce travail n'aurait sûrement pas vu le jour s'il n'y avait pas un autre intérêt tout aussi pertinent, à savoir les différences que nous pouvons trouver entre une carte géographique et une carte générée par une FGR. Des cantons géographiquement voisins se retrouveront-ils éloignés sur une carte générée par FGR? Pouvons-nous imaginer le territoire au travers d'une carte générée par des flux? Verrons-nous une Suisse différente en la regardant avec les lunettes de la pendularité?

Nous tenterons également de faire diverses modifications sur les données afin de voir comment ces dernières influencent les cartes générées par notre méthode. Ainsi nous verrons peut-être quels sont les éléments qui rapprochent ou éloignent nos cartes de la réalité géographique.

Les résultats que nous obtiendrons lors de cette étude seront fatalement empreints des choix retenus lors de la sélection des données, et des défauts éventuels de ces mêmes données. L'application de cette méthode partant d'un concept de flux pour atteindre un objectif spatial nous révélera-t-elle des informations différentes, voire nouvelles? Nous pensons que les flux méritent que l'on s'intéresse également à eux en tant que concept créateur d'espace, et que la géographie ne peut que s'enrichir d'une approche comme celle-ci.

2. Introduction

2.1 La géographie et l'espace

Dans cette brève introduction, nous définirons les notions géographiques nécessaires à la compréhension de ce travail, notamment celle d'espace géographique. Nous parlerons ensuite des notions et concepts de l'analyse spatiale, et pour terminer cette introduction, nous ferons le point sur les liens qui unissent la géographie et les méthodes mathématiques.

2.1.1 L'espace géographique

Tout au long de ce travail, nous serons confrontés à la notion d'espace géographique. Mais la définition de cet espace est plus difficile qu'elle n'y paraît. Nous appelons généralement « Espace absolu » l'espace défini par les coordonnées de latitude et de longitude. Nous pouvons ajouter une troisième dimension pour l'altitude, voire une dimension de temps lorsque nous voulons une localisation dans l'espace-temps. Cet espace a longtemps prévalu, notamment à l'origine de la géographie, mais c'est un concept trop étroit pour le géographe contemporain. Lorsque l'on ajoute au lieu que l'on souhaite définir, d'autres attributs, d'autres propriétés, comme le nombre d'habitants, de routes, de places de travail, etc., nous élargissons le concept d'espace absolu, en créant un nouveau concept, dans lequel les coordonnées ne seraient que des propriétés parmi d'autres, celui de « l'espace relatif ». Cet espace n'est pas toujours facile à appréhender. Le rapport temps/distance parcourue par exemple, se transforme de façon hétérogène selon les directions; les grands centres urbains se « rapprochent » des autres centres, mais pas des villes moyennes, et encore moins des petits villages. Aujourd'hui, en s'y prenant un peu à l'avance, il est plus long et plus coûteux de se rendre à Locarno au Tessin depuis Genève, que d'aller à Londres. Enfin, l'espace des représentations, « l'espace perçu », celui de l'image que renvoient les lieux à celui qui les contemple et les interprète. Ces représentations du monde sont intimement liées aux pratiques sociales et spatiales des hommes qui vivent dans un lieu défini. Il devient dès lors difficile de dissocier les représentations des comportements spatiaux (Bailly & Beguin, 2001a).

2.1.2 La distance

La distance est une notion géographique fondamentale qui mesure l'écart spatial qui sépare deux lieux. De ce fait, elle caractérise un couple de lieux. Elle s'intègre partout où des déplacements se produisent à la surface de la Terre, par conséquent là où il existe des activités humaines. La distance revêt une valeur explicative dans toutes les grandes théories humaines et les modèles fondamentaux en géographie, comme le modèle d'utilité agricole, le modèle gravitaire, la théorie des lieux centraux, ou la diffusion spatiale. Notons qu'une mesure d'éloignement n'est donc pas forcément une distance euclidienne (Pumain & Saint-Julien 2004).

La distance en mathématique¹ est par contre beaucoup plus restrictive, et doit respecter certaines conditions. L'écart entre deux objets i et j est une distance, si et seulement si :

$$d(ij) > 0$$

$$d(ij) = 0 \quad i \Leftrightarrow j$$

$$d(ij) = d(ji)$$

$$d(ij) \leq d(ik) + d(kj)$$

1 Bavaud F, . Méthodes quantitatives III, support de cours, 2006.

A savoir que la distance $d(ij)$ doit être toujours positive, ou nulle que lorsque i et j sont confondus, être symétrique et vérifier l'inégalité triangulaire. Un espace qui contient une distance au sens mathématique est qualifié d'espace métrique. Nous reparlerons plus en détails de la distance lorsque nous expliquerons le fonctionnement de la méthode utilisée (chapitre 3). Nous pouvons considérer la géographie humaine d'aujourd'hui comme l'étude de l'organisation de l'espace et des pratiques qui en résultent (Bailly & Béguin, 2001a).

2.2 Analyse spatiale : notions et concepts fondamentaux

L'analyse spatiale s'occupe de décrire la façon dont s'organisent les objets dans l'espace, de comprendre comment ils se localisent les uns par rapport aux autres. Elle s'intéresse aux propriétés des objets et essaie de déceler en quoi la localisation apporte un élément utile à la compréhension des objets étudiés. La localisation peut être étudiée pour elle-même, ou comme un facteur susceptible d'intervenir dans l'explication de la diversité des lieux (Pumain & Saint-Julien 2004). L'analyse spatiale comprend de nombreuses démarches comme créer une carte pour résumer de l'information, étudier des structures spatiales, tester la validité d'un modèle, ou encore reconstruire un espace à partir des relations entre des objets. Grâce à la connaissance de la situation d'unités géographiques par rapport à d'autres unités, l'analyse spatiale tente de prévoir l'évolution de leurs relations. Comme nous l'avons vu au point 2.1.1 l'espace géographique est en continuelle recherche d'une théorie générale, mais il existe des théories concernant des domaines plus restreints comme la théorie des lieux centraux, la théorie de la diffusion de l'innovation, la théorie centre-périphérie etc. Dans ces théories, la distance joue un rôle fondamental pour expliquer l'apparition, la durée et la disparition des centres.

2.2.1 L'interaction spatiale

La géographie contemporaine octroie une grande importance à la notion d'interaction spatiale. De nombreux auteurs donnent une définition différente de ce concept et il n'est pas évident de choisir celle qui semble la plus complète, ou la plus convaincante.

Dans un article traitant des différentes définitions de l'interaction spatiale, C. Grasland (2004) tente de classifier ces différentes approches et propose d'éclaircir la notion à l'aide de plusieurs définitions. Nous ne garderons ici que la suivante:

Interaction spatiale et modèle gravitaire

Cette définition repose sur le fait que les flux décroissent avec la distance. Ils se retrouvent dès lors à la base des premiers modèles d'interaction spatiale, tel que le modèle gravitaire. Basé sur des lois empiriques (Ravenstein), le phénomène a rapidement été rapproché des lois de la gravitation universelle².

2 Loi de la gravitation universelle : Deux corps ponctuels de masse M_A et M_B s'attirent avec une force proportionnelle à chacune des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Cette force a pour direction la droite passant par le centre de gravité de ces deux corps.

Grasland (2004):

Les modèles gravitaires qui font dépendre le volume d'interaction entre deux lieux de la masse des lieux émetteur et récepteur ainsi que de l'inverse du carré de la distance qui les séparent (Stewart) peuvent être considérés comme les précurseurs de formalisations théoriques plus générales des flux rassemblées actuellement sous le terme de modèles d'interaction spatiale.

Si les causes de l'interaction n'ont pas forcément une dimension spatiale, en revanche, la réalisation de cette interaction a des répercussions spatiales sur le territoire, via les réseaux de transport, qui assurent l'interaction, sur la localisation de certaines activités, sur le développement économique des territoires etc. Le fait que les unités qui sont en relations soient localisées dans l'espace, implique que l'interaction ait une composante spatiale. Par ailleurs, l'intensité et la direction des interactions sont des révélateurs de hiérarchies, de complémentarités ou de disparités spatiales et de l'influence de certaines unités géographiques sur d'autres. Les auteurs s'accordent à dire que les modèles gravitaires sont souvent efficaces, mais qu'ils ne peuvent prétendre constituer à eux seuls une théorie de l'interaction spatiale.

Bien que de nombreuses améliorations ont été apportées au modèle gravitaire, il n'est pas encore capable de décrire les interactions de manière universelle. Le modèle classique a été enrichi par l'utilisation empirique, et l'ajout de variables caractérisant les unités spatiales en relations. Toutefois, il ne constitue pas encore une théorie de l'interaction (Pini 1995).

Le modèle gravitaire résume assez bien l'essentiel des mouvements dans un espace relativement homogène. Les flux de pendulaires associés à un bassin d'emploi par exemple, sont souvent prédits de façon satisfaisante. La distance géographique (point 2.1.2), exerce dans ce modèle une contrainte forte sur la classification des zones: une zone périphérique ne sera dès lors pas forcément une région voisine au sens strict, de la zone « centre », mais bien une périphérie définie en distance/coût et/ou distance/temps que se fixent les acteurs des interactions. Son utilité pratique a été démontrée à de nombreuses reprises, mais c'est un modèle statique, qui reste pauvre sur le plan théorique (Pumain 2004).

2.2.2 Les flux

Prenons comme définition de base celle de Offner (2004): « *La notion de flux en géographie s'entend comme l'expression d'une circulation entre deux lieux sur une infrastructure* ». Il peut s'agir de toutes sortes de flux, comme des personnes, des marchandises, ou encore des informations. Lorsqu'il y a un flux entre deux lieux, il faut admettre qu'il existe entre eux une différence, qui est la cause du mouvement. Ainsi les flux apparaissent comme des révélateurs de différenciations spatiales. Le terme flux est souvent associé au terme réseau dans la mesure où ce dernier constitue, dans la plupart des cas, le support nécessaire à l'écoulement ou au transfert (réseau hydrographique, réseau de transport, etc.) (Chapelon 2004). Toutefois, si certaines différences s'expliquent par la présence de flux, on peut également noter que la persistance de ces derniers amènent parfois de nouvelles disparités. Pour calculer des flux, il faut tenir compte de plusieurs éléments. En premier lieu, la quantité déplacée et la distance franchie, auxquelles il est nécessaire d'ajouter une unité de temps pour travailler avec les flux. On comprend bien l'importance de l'unité de temps sans laquelle les rapports obtenus seraient bien difficiles à utiliser. Les débits qui sont ainsi obtenus, comme passagers/heure pour le trafic routier, des mégabits/seconde pour les télécommunications informatiques etc., sont utilisés par de nombreuses branches, dont la

géographie, pour des applications multiples et variées.

Les informations relatives aux flux se traitent à partir de tableaux d'échanges, dans lesquels les lignes et les colonnes sont les mêmes unités spatiales.

2.3 La géographie et les méthodes mathématiques

Après la révolution due à l'introduction de l'analyse statistique, la géographie a vécu celle de l'intégration de l'analyse mathématique au sens large. « *Si la première confronte le traitement et l'analyse des données géographiques, la seconde favorise une modélisation rigoureuse. Ces deux types d'analyses s'intègrent dans la démarche scientifique : l'un au niveau du test empirique des hypothèses, l'autre au niveau de la construction de la théorie notamment.* » (Bailly 1998). La puissance de l'outil a amené la géographie à faire des progrès considérables, il a même été parfois adapté aux besoins spécifiques de la géographie, construisant des outils nouveaux servant au mieux les besoins des géographes.

L'évolution constante des moyens statistiques mis à la disposition des géographes offre la possibilité d'aller toujours plus loin dans les analyses. De bonnes connaissances en méthodes mathématiques et la maîtrise de l'outil informatique sont des conditions nécessaires à l'application de la statistique en général, et en géographie en particulier. La manipulation de bases de données toujours plus importantes, ne peut plus se passer des ordinateurs. La puissance de calcul des microprocesseurs diminue le temps de travail de façon si extraordinaire que nous aurions du mal à imaginer le faire autrement. Quoi qu'il en soit, sans l'outil informatique, beaucoup de calculs statistiques demanderaient un temps trop important à l'homme, pour qu'il soit envisageable de les réaliser.

Un des points nécessaires à l'utilisation des statistiques en géographie, est que l'utilisateur possède les données adéquates qui permettront de répondre aux problèmes qu'il se pose. Bien entendu, s'il est possible de faire de la statistique simplement pour faire de la statistique, ce qui est justifiable dans une approche purement méthodologique, ce n'est pas souvent le cas dans son application à la géographie. Dans cette dernière approche, le géographe va utiliser tous les outils qu'il peut avoir à disposition dans un but de compréhension et d'explication des phénomènes spatiaux qu'il étudie. C'est bien le rapport que l'homme entretient avec l'espace, ou plus précisément les interactions qui existent entre différents lieux de l'activité humaine qui va intéresser le géographe en science humaine. Le raisonnement géographique se situe donc en amont d'une étude statistique appliquée en géographie, mais également en aval pour en expliquer le résultat.

3. Techniques de reconstruction spatiale

Dans ce troisième chapitre, nous allons expliquer le fonctionnement de la méthode utilisée, les principes mathématiques qui permettent d'arriver à l'obtention des coordonnées recherchées pour la reconstruction factorielle géographique.

3.1 Le MDS (multidimensional scaling)

3.1.1 Origine et but du positionnement multidimensionnel

Les origines des techniques du positionnement multidimensionnel remontent sans doute aux travaux de Richardson (1938) qui cherchait à comprendre comment les individus regroupaient des ensembles d'objets, les classaient. Certains considèrent également que dans ses travaux de biologie comparée, Boyden (1933), utilise une construction géométrique qui s'approche du positionnement multidimensionnel (Desbois 2005).

Le positionnement multidimensionnel ou « multidimensional scaling (MDS) » en anglais se rapporte à différentes techniques visant à reproduire dans un espace euclidien, les propriétés d'un ensemble d'objets. La répartition spatiale qui en résulte obéit à des relations de similarités, dissimilarités ou ordinales pour les propriétés données de ces objets. Ces techniques permettent de réduire ces relations d'un espace à n dimensions, à un espace dans lequel elles pourront être plus facilement interprétables, généralement deux ou trois dimensions. Plus les objets sont semblables, plus la distance entre eux est courte. Inversement, des objets n'ayant que très peu de similitudes sont représentés par des points éloignés. La réduction dimensionnelle s'accompagne d'un coefficient indiquant le degré de contrainte imposée, appelé le « stress » (Kruskal 1978). Il existe des méthodes proches du positionnement multidimensionnel, comme l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse de correspondances (AC) ou l'analyse de clusters. Toutefois, un MDS n'est pas une projection dimensionnelle au sens strict, mais bien une recherche de positionnement sous contrainte de dimensions (Escoufier 1975) (Cox & Cox 1994). Pour trouver une représentation euclidienne d'un ensemble de points, Young et Householder (1938) ont mis au point une technique proche de l'analyse factorielle, en recourant à la décomposition spectrale d'une matrice symétrique.

Cette technique sera retravaillée et développée par Torgerson (1952), qui proposera un des premiers algorithmes de positionnement multidimensionnel. Ses travaux déboucheront sur ce que nous appelons aujourd'hui le modèle classique. Cette technique permet de représenter des individus lorsque que nous ne possédons qu'une matrice de similarité ou de dissimilarité.

Il est intéressant de noter que les méthodes de partitionnement se basent sur les similarités (ou dissimilarités) entre des individus, au contraire d'autres méthodes comme l'analyse en composantes principales, ou la régression multiple par exemple, qui visent à décrire les relations entre les variables.

3.1.2 Les dissimilarités

Nous pouvons utiliser des nombreuses normes pour définir les similarités ou dissimilarités entre plusieurs objets, nous retiendrons la suivante³:

Définition (dissimilarité): Une dissimilarité d entre n objets est une matrice $d = (d_{ij})$ carrée ($n \times n$), symétrique et non-négative, avec une diagonale nulle.

Cette définition signifie que nous sommes en présence d'une dissimilarité si et seulement si ces trois conditions sont remplies. Notons que ces conditions ont déjà été évoquées au point 2.1.2. sur les conditions d'existence d'une distance au sens mathématique, et il s'agit bien là de la même chose.

Considérons un nombre d'objets $i = 1, \dots, n$, où chaque objet i possède un certain nombre de caractères, traits, représentés par $k = 1, \dots, p$. Il existe donc une matrice $X = (x_{ik})$ de type $(n \times p)$, dans laquelle le k -ième trait du i -ième individu est représenté par la valeur de (x_{ik}) .

Dans notre matrice (x_{ik}) , le profil de l'individu $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$, celui du second individu $x_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp})$ et ainsi de suite. Il s'agit là de deux vecteurs ligne à p composantes, dont la distance qui les sépare constitue la mesure de dissimilarité d_{ij} . Ainsi, nous voyons clairement le rapport entre distance et dissimilarité.

La relation entre les valeurs des dissimilarités peut être visualisée au moyen de triangles. Prenons trois dissimilarités d_{ij} , d_{jk} et d_{ik} se référant à trois individus i , j et k , et dressons un triangle dont les longueurs des côtés sont respectivement les valeurs des dissimilarités. Lorsque la longueur d'un côté n'excède pas la somme des deux autres, cela vérifie l'inégalité triangulaire et nous pouvons qualifier cette dissimilarité de métrique. Lorsque l'inégalité n'est pas vérifiée, des dissimilarités sont dites non-métriques⁴.

- Dissimilarité métrique : pour tous i, j, k : $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{jk}$ (1)

Parmi les dissimilarités métriques, nous trouvons les dissimilarités de Minkowski, euclidienne, de Manhattan ou encore de Chebychev. A noter que la dissimilarité euclidienne au carré n'est pas métrique⁵.

Nous parlons de dissimilarité ultramétrique lorsque chacun des côtés ne dépasse pas la longueur maximum du plus grand côté. Il est aisé de comprendre que de telles conditions sont remplies lorsque les trois points forment un triangle isocèle à petite base, ou un triangle équilatéral. Dans tous les autres cas de triangles, la dissimilarité est métrique.

- Dissimilarité ultramétrique : pour tous i, j, k : $d_{ij} \leq \max(d_{ik}, d_{jk})$ (2)

³ Bavaud F., Méthodes mathématiques, supports de cours 2006.

⁴ Pour plus de détails sur les dissimilarités non-métriques, voir Bavaud (2006c).

⁵ Un triangle dont les côtés ont pour longueur 2, 3 et 5 est métrique, alors que ce même triangle au carré dont les côtés vaudraient 4, 9 et 25 ne remplirait plus la condition, puisque 25 excède 4 + 9 (13).

L'inégalité $d_{ij} \leq \max(d_{ik}, d_{jk})$ entraîne l'inégalité $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{jk}$ ce qui implique que toute dissimilarité ultramétrique est également métrique.

- Dissimilarité de Minkowski (q) ou de type L_q

Pour pouvoir représenter une dissimilarité d , il s'agit de trouver, pour chaque objet

$i=1, \dots, n$ des nombres $X=(x_{ik})$, où (x_{ik}) est la k-ième coordonnée de l'objet i .

Une dissimilarité d ente n objets est de type L_q (ou de type Minkowski(q)) s'il existe des coordonnées $x_{ik}(i=1, \dots, n, k=1, \dots, p)$ telles que

$$\text{pour tous } i, j : \quad d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^q \right)^{\frac{1}{q}} \quad (3)$$

Le type L_2 , qui correspond à la dissimilarité euclidienne est un cas particulier du type L_q . Il est l'un des plus utilisés, avec les variantes L_∞ et L_1 .

Nous présentons ici la dissimilarité euclidienne (L_2) mais il y a de nombreuses façons⁶ de construire une dissimilarité d_{ij} à partir de deux profils x_i et x_j .

Les dissimilarités euclidiennes sont les distances de la géométrie classique, dans laquelle chaque objet i est représenté par un point de coordonnées (x_{ik}) .

$$\text{dissimilarité euclidienne : } d_{ij} := \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (4)$$

$$\text{pour tous } i, j : \quad d_{ij} = \sqrt{D_{ij}} \quad D_{ij} := \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (5)$$

La dimension de représentation est le plus petit nombre de dimensions pour lequel il est possible d'effectuer une représentation. $P=1$ étant généralement trivial, il s'agit le plus souvent de $p=2$, qui permet une vision bidimensionnelle des dissimilarités.

Pour trouver les coordonnées x_{ik} des n objets de la matrice de dissimilarités d_{ij} , nous pouvons utiliser les techniques du positionnement multidimensionnel qui permettent de trouver des coordonnées⁷ à partir des dissimilarités.

6 Pour en savoir plus sur la construction d'autres dissimilarités (dissimilarité de bloc (de Manhattan), de Chebychev, de Minkowski, etc). Voir Bavaud (2006c).

7 Les coordonnées sont exactes lorsque la dissimilarité est euclidienne et approchées lorsqu'elles ne le sont pas. Voir Bavaud (2006c).

3.1.3 Le MDS classique

A toute fin utile, nous achevons la présentation de la méthode à suivre pour appliquer un positionnement multidimensionnel classique et obtenir les coordonnées recherchées. Il s'agit de la version non pondérée du mds, où chaque objet à une pondération uniforme de $1/n$, contrairement à la méthode par FGR (3.2) qui est pondérée par π .

Le MDS classique se résout en introduisant une matrice auxiliaire $B=(b_{ij})$ symétrique $(n \times n)$, la matrice des produits scalaires centrés.

Si d_{ij} est représentable euclidiennement, alors il existe n vecteurs $x_i (i=1, \dots, n)$ de dimensions p tels que $D_{ij} = d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2$ (6)

$$\text{et } x_{0k} := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik} \qquad b_{ij} := \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{0k})(x_{jk} - x_{0k}) \qquad (7)$$

x_{i0} est un vecteur représentant la moyenne des points $x_i (i=1, \dots, n)$ et b_{ij} est le produit scalaire centré entre $x_i - x_{i0}$ et $x_j - x_{j0}$. En recourant au théorème du cosinus, on obtient que $D_{ij} = D_{i0} + D_{j0} - 2b_{ij}$. Afin de trouver les quantités D_{i0} et D_{j0} , il faut utiliser le principe de Huygens⁸.

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n D_{ij} = D_{i0} + \Delta \qquad \Delta = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n D_{i0} = \frac{1}{2} \frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1}^n D_{ij} \qquad (8)$$

La moyenne des carrés des distances des objets à l'origine, ce qui équivaut à la demi-moyenne des distances entre toutes les paires d'objets, est représentée par Δ , l'inertie.

Cette étape permet de poser les égalités suivantes:

$$b_{ij} = -\frac{1}{2} \left(D_{ij} - \frac{1}{n} \sum_l D_{il} - \frac{1}{n} \sum_l D_{jl} + \frac{1}{n^2} \sum_{l,l'} D_{ll'} \right) \qquad B = -\frac{1}{2} (I - P) D (I - P') \qquad (9)$$

D est la matrice de dissimilarité au carré.

P est la matrice de projection sur la droite des constantes⁹.

I est la matrice identité¹⁰.

$I-P$ est la matrice de centration transformant les scores bruts en scores centrés.

⁸ Principe de Huygens, applicable seulement pour les dissimilarités euclidiennes, Bavaud (2006c).

⁹ $P = X(X'X)^{-1}X'$; $P = P'$: pour la construction de la matrice de projection Bavaud (2006c).

¹⁰ La matrice identité est composée de 1 dans sa diagonale et de 0 partout ailleurs.

Une fois la matrice des produits scalaires centrés b_{ij} obtenue, nous pouvons la décomposer spectralement (point 3.3). Pour que la dissimilarité d_{ij} soit euclidienne, il faut que B soit semi-définie positive, ce qui veut dire qu'aucune de ses valeurs propres ne doit être négative.

Le nombre de dimensions r dans lesquelles peut être représentée la matrice de dissimilarité est au maximum de $r = n - 1$.

$$\sum_{\alpha=1}^r \lambda_{\alpha} = \sum_{i=1}^n b_{ij} = \sum_{\alpha=1}^r \sum_{i=1}^n x_{i\alpha}^2 = \sum_{i=1}^n D_{i0} = n\Delta \quad (10)$$

$$\text{Proportion d'inertie expliquée par les } k \text{ premiers facteurs} = \frac{\sum_{\alpha=1}^k \lambda_{\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^r \lambda_{\alpha}} \quad (11)$$

L'inertie Δ introduite plus haut, est égale à la somme des valeurs propres. Lorsque nous conservons un nombre $k < r$ de dimensions de représentation, nous gardons la part d'inertie expliquée par les k premières valeurs propres. Cela montre qu'à moins de garder toutes les valeurs propres, la reconstruction sera toujours approximative.

3.2 La FGR (factorial geographic reconstruction)

Après avoir vu l'essentiel de l'articulation d'un MDS, nous allons expliquer la méthode employée dans ce travail. A la question légitime que peut se poser le lecteur à ce stade : pourquoi n'avoir pas fait un mds et avoir utilisé cette autre méthode? Nous pouvons répondre avec deux points principaux. Le premier est que dans le cheminement du MDS classique, la matrice de dissimilarité doit posséder une diagonale nulle. La matrice de nos données, comme nous le verrons au chapitre 4, possède une diagonale qui n'est non seulement pas nulle, mais qui représente une partie importante des données. Nous n'avons donc pas voulu supprimer purement et simplement cette diagonale, pour ne pas perdre les informations qu'elle contient. Le second point est que cette méthode de FGR qui nous permet de conserver la diagonale, est relativement rapide à exécuter. Elle fait toutefois appel à d'autres techniques qu'il est nécessaire de comprendre.

Dans son article « Spectral Clustering and Multidimensional Scaling : A Unified View » (Bavaud 2006a), le professeur F. Bavaud nous explique le lien entre le Spectral clustering et le multidimensional scaling. Nous apprenons comment procéder pour obtenir les coordonnées issues d'une matrice de dissimilarités sans avoir recours à la matrice des produits scalaires centrés. L'idée générale est qu'une matrice de flux normalisés possède les mêmes vecteurs propres que la matrice des produits scalaires centrés. Les valeurs propres sont par contre différentes mais cela n'a pas d'incidence sur le calcul des coordonnées. Il est alors possible de décomposer spectralement une matrice de flux normalisés à la place de celle des produits scalaires centrés (Bavaud 2006a). Nous obtenons ainsi le même résultat pour ce qui est des vecteurs propres et des coordonnées que si nous avons suivi le chemin classique du MDS.

L'application de cette méthode modifie le développement mathématique qu'il faut appliquer à nos données pour arriver à l'étape de décomposition spectrale.

Soit $N (n_{ij})$ une matrice de flux carrée ($n \times n$), $N' (n'_{ij})$ la transposée de N et $N^s (n^s_{ij})$ est la matrice des flux symétrisés.

$$\text{Nous avons: } N^s = \frac{1}{2}(N + N') \quad (12)$$

Puis il convient de créer la matrice d'échange $E (e_{ij})$ et la matrice des flux normalisés $F (f_{ij})$.

$$\text{où } e_{ij} := \frac{n^s_{ij}}{n^s_{..}} \quad f_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\pi_i \pi_j}} \quad \pi_i = e_{i.} \text{ et } \pi_j = e_{.j} \quad (13)$$

Nous sommes à présent en mesure d'effectuer la décomposition spectrale de $F (f_{ij})$ afin d'obtenir nos coordonnées.

La programmation du script associé à cette méthode s'est fait à l'aide du logiciel de statistiques SPSS®, (annexe III).

3.3 La décomposition spectrale

La décomposition spectrale d'une matrice $F=(f_{ij})$ constitue la base des méthodes factorielles en analyses des données (comme l'analyse des correspondances ou l'analyse en composantes principales). Il s'agit de déterminer les vecteurs propres (U) et les valeurs propres (λ), nous pouvons l'écrire de la façon suivante:

$$F=U \Lambda U' \quad (14)$$

$$U=(u_{i\alpha}) \quad UU'=I \quad \Lambda=diag(\lambda_\alpha)$$

Où U est la matrice formée par les vecteurs propres normés de F .

Λ la matrice diagonale formée par les valeurs propres de F . A noter que seules les composantes non nulles (la diagonale) sont formées par ces valeurs propres (Bavaud 2006a).

les coordonnées $x_{i\alpha}$ s'obtiennent par $x_{i\alpha}:=\frac{u_{i\alpha}}{\sqrt{\pi_i}}$ (15)

où $x_{i\alpha}$ sont les coordonnées recherchées, $u_{i\alpha}$ la matrice des vecteurs propres normés de F_{ij} et π_i la distribution stationnaire de E_{ij} .

Que nous ayons suivi la technique du positionnement multidimensionnel classique ou la méthode de la reconstruction géographique factorielle, l'étape finale est la décomposition spectrale. C'est elle qui nous permet d'obtenir les coordonnées des points que nous recherchons dans le cadre de ce travail.

Dans la matrice des coordonnées que nous obtenons, nous pouvons voir que la première valeur propre est triviale, avec des coordonnées triviales associées qui valent +1 ou -1. Cette situation provient du fait que dans ce travail, nous n'avons pas centrés nos données. Nous pouvons dès lors considérer nos coordonnées comme « simplifiées ».

4. Les données

Dans les chapitres précédents, nous avons définis les principaux concepts de géographie que nous utilisons dans ce travail, puis la méthode mathématique que nous allons appliquer à nos données. C'est donc le moment approprié pour parler des données, de leur récolte, de leur compilation en matrice, du choix de l'échelle retenue et des sources qui ont permis leur acquisition.

4.1 Recherche et traitements des données

Les données géographiques sont dites « multisource », en tant qu'elles proviennent de sources variées et que nous les trouvons sur des supports divers. A l'instar de la diversité des sources, le mode d'acquisition s'effectue de façon distincte selon ce que l'on cherche à obtenir. Le relevé de terrain fût longtemps à la base des cartes topographiques, puis les photos aériennes ont permis d'accélérer le processus. Enfin, l'acquisition des images numériques de la surface de la Terre par satellites et l'application des méthodes de télédétection permet d'avoir des données de plus en plus précises sur l'utilisation du sol, le bâti, la pollution etc (Béguin & Pumain 2007).

A côté de cette première façon de collecter les données, les enquêtes sont une autre forme de collecte très importante pour les données économiques, sociales, et de manière générale toutes les données qui ont trait aux comportements des individus. Le recensement est une enquête dont les données sont considérées comme exhaustives, cependant même le recensement exhaustif peut être interprété comme un échantillon prélevé dans l'infinité des circonstances qui sont susceptibles d'influencer les résultats d'un recensement (Bailly 1998). Aujourd'hui, énormément de données sont archivées, répertoriées comme par exemple les registres de l'Etat civil, les fichiers cadastraux, les bases de données des assurances etc.

Bien qu'elles soient omniprésentes dans nos sociétés, il n'est pas toujours aisé de se procurer les données nécessaires à la réalisation d'une étude. Cet état de fait a une conséquence importante: à moins de les récolter lui-même ou d'acheter les données lorsque c'est possible, le chercheur doit limiter ses travaux aux données disponibles.

Nul doute que tous les grands organismes internationaux possèdent des bases de données concernant leurs domaines d'activités, mais bien souvent, nous ne connaissons que les bases de données qui sont proches de nous. En Suisse, par exemple, l'office fédéral de la statistique¹¹ (OFS) met en ligne un certain nombre de données, permettant à ceux qui en désirent plus de payer un abonnement afin d'avoir accès à la totalité de la base de données de l'OFS. Nous pouvons y trouver une encyclopédie statistique, des cartes thématiques et une grande base de données en ligne « Superweb¹² ». Accessible par mot de passe et munie d'une interface « conviviale », elle permet de sélectionner soit-même les données et de créer des tableaux. Le fait de devoir payer pour obtenir des données est en soi légitime, car leur récolte a un coût et prend du temps, mais cela peut freiner l'ardeur de certains chercheurs.

Nous avons choisi d'appliquer la FGR à des données de pendulaires car nous avons besoin de données de flux et qu'elles étaient disponibles.

11 Office fédéral de la statistique, url : <http://www.bfs.admin.ch/>

12 Accès (payant) Superweb, url:

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/infothek/onlinedb/superweb.html>

Les données que nous avons obtenues correspondent aux catégories "pendulaires" et "écoliers". S'agissant d'un travail d'analyse spatiale basé sur le volume des flux pendulaires, il n'était pas utile de distinguer ces deux ensembles de personnes. Regrouper ces deux catégories nous a permis de traiter de manière similaire les jeux de données de 1990 et 2000, et ainsi d'avoir une évolution sur 10 ans du trafic pendulaire général sur le territoire. La Suisse possède une géographie bien particulière, avec des centres urbains très proches des frontières nationales. Cela complexifie les choses, car le nombre de travailleurs étrangers, loin d'être marginal, fait partie intégrante du volume pendulaire.

Nous ne tiendrons pas compte des pendulaires frontaliers, c'est à dire provenant des pays voisins que sont la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Autriche et le Liechtenstein, pour l'application centrale de notre FGR. Toutefois, il n'était pas question de ne pas les incorporer au travail, et nous en parlerons à de nombreuses reprises tout au long de cette étude. Il existe des pendulaires qui sortent de notre échantillon, comme par exemple le travailleur suisse qui prend l'avion pour se rendre à Londres tous les jours de la semaine, et probablement d'autres cas dans d'autres situations. Ces pendulaires ne sont pas en nombre suffisant pour influencer les résultats d'une étude sur les pendulaires "classiques" et ne seront donc pas retenus dans ce travail.

Les jeux de données utilisés pour notre travail sont les suivants:

- Flux pendulaires intercantonaux année 1990
- Flux pendulaires intercantonaux année 2000
- Flux pendulaires des frontaliers qui travaillent en Suisse année 1990
- Flux pendulaires des frontaliers qui travaillent en Suisse année 2000
- Populations cantonales année 1990
- Populations cantonales année 2000

4.2 Le choix du niveau hiérarchique

Il est important de définir dès le départ le niveau hiérarchique sur lequel nous allons travailler, et surtout pour lequel, il est possible d'avoir les données. Partant de l'idée qu'il serait pertinent de prendre les communes comme limites pour les flux pendulaires, il fut rapidement clair que cela n'allait pas être possible. Bien que les données soient disponibles pour les communes, la matrice nécessaire à cette étude n'était pas construite. Fort de cette matrice manquante, il aurait fallu la créer nous-même à partir des données disponibles. Or il y a plus de 3000 communes¹³, ce qui ferait une matrice carrée de 3000 x 3000, soit environ 9 millions de champs. Le niveau hiérarchique possible suivant était les districts. En nombre beaucoup plus restreint que les communes, ce sont des découpages territoriaux à vocation institutionnelle. Ils sont importants pour l'organisation cantonale et leur nombre est également en train de diminuer¹⁴. Une analyse des flux pendulaires avec comme unité les districts aurait été possible, si toutefois la matrice avait existé. La créer restait quelque chose de fastidieux avec plus de 30.000 champs à remplir.

13 La Suisse était composée de 3021 communes en 1990, mais il n'en restait plus que 2899 en 2000. Au premier janvier 2009, il n'en restait plus que 2636.
(http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/regionen/11/geo/institutionnelle_gliederungen/01b.html)

14 Le nombre de districts en Suisse est resté très stable de 1850 à 2000 avec 184 districts. Depuis l'année 2000, leur nombre diminue de façon notable suite aux remaniements territoriaux des cantons, et leur n'est plus que de 166 en 2009.

Les cantons ont l'avantage d'être moins nombreux mais également plus stables que les districts ou les communes. En effet, les limites cantonales ne changent qu'à de rares occasions. Afin de pouvoir établir une comparaison entre les années 1990 et 2000, il était plus commode que les unités géographiques n'aient pas changé. C'est bien le cas des cantons, même si certaines limites ont été déplacées durant les vingt dernières années, sans répercussion sur la problématique des pendulaires. La fusion de communes (presque 400 communes de moins en 2009 qu'en 1990) ou le remaniement des districts d'un canton aurait été plus ennuyeux, et nous aurait forcé à procéder à des étapes supplémentaires selon la situation concernée.

Nous avons la chance que l'OFS rende accessibles les données des précédents recensements sans quoi, une comparaison sur le temps n'aurait guère été possible. Pour les deux années utilisées dans ce travail, nous avons les flux pendulaires entre les 26 cantons suisses. Ce qui donne deux tableaux (1990 et 2000) de 26 colonnes et de 26 lignes. Notons également que la diagonale représente les pendulaires dont le canton d'origine est le même que celui de destination. Cela constitue d'ailleurs la majorité du volume pendulaire, étant donné qu'une grande majorité des actifs ne change pas de canton pour aller étudier ou travailler.

Finalement, le choix de ce niveau d'observation nous semble adéquat pour notre analyse. Nous perdons de l'information par rapport à des données de pendulaires par communes, mais nous y gagnons en éliminant une partie du « bruit » que provoquerait la multiplication des unités spatiales. Il existe toujours de nombreuses façons de découper un territoire, quelques soient les contraintes imposées. Dans notre cas, un découpage administratif au niveau cantonal correspond à ce que nous recherchons, il devrait être à même de présenter l'information principale, les mouvements pendulaires, sans devenir difficile à lire en prenant un niveau administratif inférieur. La lisibilité renforcée, la communication de l'information n'en sera que plus aisée. De plus, un découpage cantonal se justifie facilement en Suisse, le pouvoir des cantons étant important dans tous les domaines. Cette abstraction volontaire appelée généralisation, n'est pas toujours pertinente, il est donc nécessaire de bien connaître ce que nous voulons montrer (Bailey 1998).

4.3 Sources des données

Pendulaires intercantonaux 1990

OFS, Neuchâtel 2003 - Recensements fédéraux de la population 1990. - Estimations: Section Analyses spatiales.

Pendulaires intercantonaux 2000

OFS, Neuchâtel 2003 - Recensements fédéraux de la population 2000. - Estimations: Section Analyses spatiales.

Pendulaires étrangers 1990:

Données communales fournies à l'OFS par les offices de statistique des cantons de Genève et du Tessin; Pour les autres régions les valeurs par commune ont été estimées sur la base des totaux cantonaux et d'autres indications.

Pendulaires étrangers 2000:

Registre central des étrangers (RCE/IMES).
Recensement de la population de la Principauté du Liechtenstein.

Sont compris dans les pendulaires étrangers, les actifs occupés, de nationalité étrangère, domiciliés à l'étranger qui travaillent en Suisse.

Populations cantonales 1990 et 2000

ESPOP qui synthétise les résultats à partir des recensements fédéraux de la population 1990 et 2000 (RFP), de la statistique du mouvement naturel de la population (BEVNAT), de la statistique de la population résidente de nationalité étrangère (PETRA) et de la statistique des migrations des personnes de nationalité suisse.

Les données concernant les pendulaires sont toutes disponibles sur le site de l'OFS¹⁵, il a toutefois fallu les recompiler afin de pouvoir les utiliser.

¹⁵ <http://www.media-stat.admin.ch/stat/pendler/pop.php?app=p1t&type=t&filter=3&div=kt00&qmode=x&alt=&plen=35&col=3&lang=fr&q=1> (consulté en juillet 2009)

5. La pendularité en Suisse

Dans ce chapitre, nous traiterons de plusieurs questions concernant le trafic pendulaire en Suisse. Nous verrons comment se répartissent les pendulaires sur l'ensemble du territoire et les conséquences spatiales que provoque un tel trafic. Nous nous arrêterons aux pendulaires frontaliers, en regardant leurs origines et le volume qu'ils représentent pour certains cantons. Nous finirons par la mise en cartes d'indices/rapports créés pour tenter d'illustrer l'évolution du phénomène pendulaire entre 1990 et 2000.

5.1 Définition de la catégorie «pendulaire»

Selon l'OFS, la catégorie «pendulaire» regroupe les personnes âgées de 15 ans ou plus, qui exercent une activité lucrative et qui quittent leur domicile pour se rendre sur leur lieu de travail (Frick [et al.] 2004).

Lorsque nous voulons travailler avec des données de plusieurs recensements dont les années sont différentes, il faut faire attention à ce que les termes appliqués lors de la récolte des données s'appliquent aux mêmes catégories de personnes. Jusqu'en 1980 par exemple, le terme pendulaire ne tenait compte que des personnes qui avaient une activité lucrative de six heures au moins. La catégorie «écoliers» a également subi quelques changements qu'il nous faut regarder de plus près. En 2000, les écoliers comprennent toutes les personnes en formation, cela comprend donc également les apprentis et les étudiants salariés dont le temps de travail dépasse six heures. Ces derniers ont donc changé de catégorie, passant de «pendulaire» à «écolier». Avant le recensement fédéral 2000, il n'était pas possible de distinguer les apprentis et étudiants salariés des autres actifs occupés. Ce changement n'a heureusement aucune influence sur notre travail puisque nous ne tenons volontairement pas compte des catégories, mais seulement du volume global de pendulaires.

Pour les analyses suivantes, il convient de garder à l'esprit que le trafic pendulaire constitue une part, certes importante, mais ne correspond pas à l'ensemble du trafic.

5.2 Vue d'ensemble de la pendularité de 1990 à 2000

En 2000, parmi les actifs occupés en Suisse, 90% quittent leur domicile pour aller travailler/étudier. Quelle que soit leur destination, une commune différente ou non, ils entrent tous dans la catégorie des pendulaires. Environ 65% représentent des pendulaires intercommunaux, les autres 35% travaillant dans leur commune de résidence (Frick [et al.] 2004).

Entre 1990 et 2000, la masse totale des pendulaires a augmenté d'environ 8%, et la proportion de femmes a subi une croissance beaucoup plus importante que celle des hommes. En effet, les chiffres 2000 nous montrent une augmentation de 18 % par rapport aux chiffres de 1990 alors que les hommes n'obtiennent que 0.8 %. Ce sont là des chiffres assez surprenants puisque nous aurions pu nous attendre à une augmentation à peu près similaire pour les deux sexes, mais le fait est que les femmes font plus de 90% de l'augmentation des pendulaires entre 1990 et 2000¹⁶. Les raisons qui font que le nombre de femmes actives et pendulaires augmente de manière forte sont sans doute multiples et sortent du cadre de ce travail, mais nous pouvons imaginer qu'il va continuer son ascension et qu'il se rapprochera encore un peu des 50% lors d'un prochain recensement.

¹⁶ Chiffres tirés des recensements 1990 et 2000, bases de données en ligne de l'OFS.

La distance moyenne parcourue par le pendulaire est en augmentation, mais le temps de parcours lui est assez stable. Cela implique que la vitesse moyenne des déplacements augmente, ce qui se manifeste par un accroissement des déplacements en transport individuel motorisé (TIM) 58% en 2000, par rapport aux transports publics (Frick [et al.] 2004).

5.3 Les conséquences spatiales de l'évolution de la pendularité en Suisse.

Les mouvements pendulaires ont dans l'ensemble augmenté entre 1990 et 2000. La part des personnes qui exercent une activité lucrative en dehors de leur commune d'habitation a progressé de 31% en 1970 à 58% en 2000.

La distribution spatiale des mouvements pendulaires est demeurée cependant inchangée entre 1990 et 2000. Les villes-centres et quelques communes des agglomérations affichaient un solde pendulaire positif (différence entre les pendulaires entrant et sortant) en raison de l'offre de travail disponible. Inversement, les communes d'habitation dans les agglomérations ainsi que les communes rurales ont enregistré des soldes pendulaires négatifs. Entre 1990 et 2000, la polarisation entre les «communes d'emploi» et les «communes d'habitation» s'est accentuée¹⁷. La plupart des régions urbaines sont parvenues à accroître leur solde pendulaire positif. Les villes-centres, en particulier, ont renforcé leur statut de communes d'emploi et continué d'étendre leur influence spatiale.

Seules 432 des quelques 2'900 communes de Suisse affichaient un solde pendulaire positif en 2000, contre 486 en 1990. La concentration spatiale des lieux de travail et l'expansion des régions pendulaires se sont encore accentuées.

Dans ce travail, les pendulaires seront soit qualifiés d'intercantonaux soit d'intracantonaux. Cela signifie dans le premier cas, que le pendulaire travaille dans un canton différent de celui où il réside, alors qu'il ne franchit pas de limite cantonale dans le second cas. Notons que dans tous les cantons et cela pour les deux années recensées, le nombre de pendulaires intracantonaux est toujours plus élevé que le nombre d'intercantonaux.

5.4 Soldes pendulaires intercantonaux et pendulaires frontaliers

Nous appelons solde pendulaire la différence entre les pendulaires entrants et les pendulaires sortants. Ainsi, lorsqu'une commune a plus de pendulaires sortants que d'entrants, elle a un solde pendulaire négatif. C'est le cas des communes à vocation résidentielle. Nous pouvons étendre ce phénomène à d'autres échelles, mais il est difficilement concevable de définir un canton comme résidentiel, même si certains d'entre-eux correspondraient assez bien à ce type de qualificatif.

17 OFS url:<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/regionen/03/key/00/ind27.indicator.270701.2707.htm> (consulté en septembre 2009).

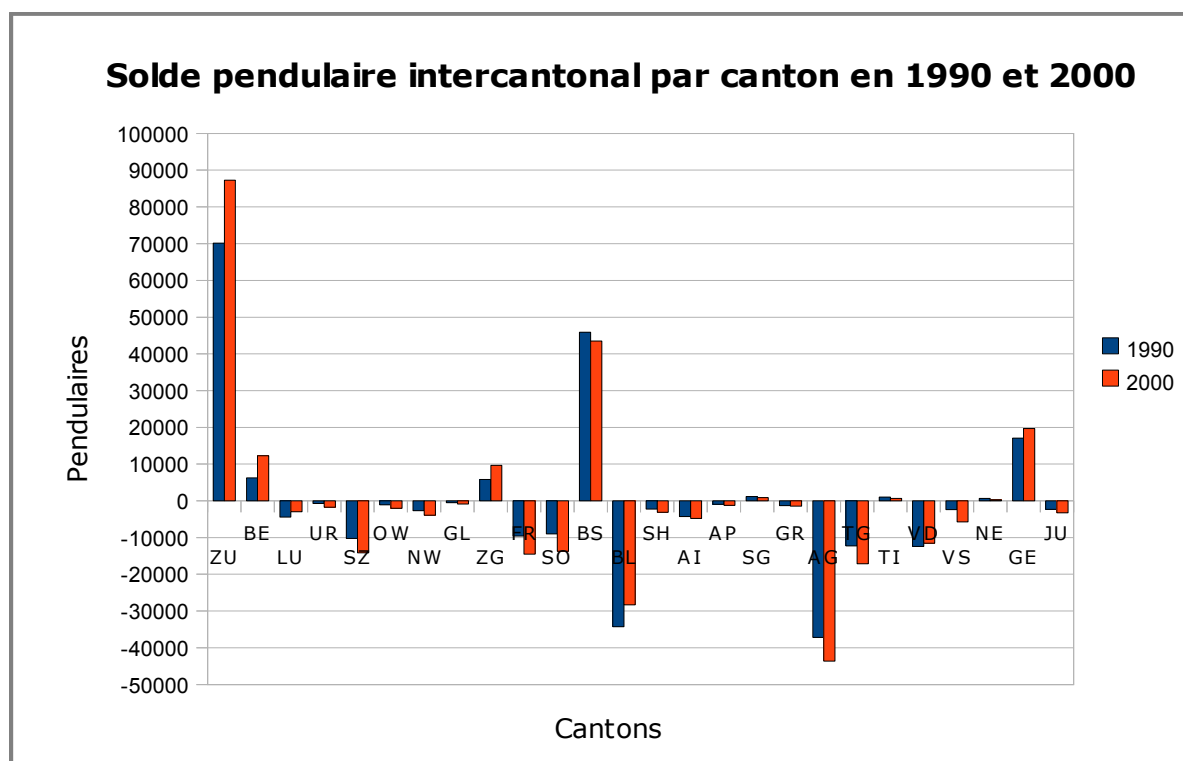


Figure 1: Solde pendulaire intercantonal par canton en 1990 et 2000

La première information qui ressort de cet histogramme est la différence entre les cantons qui possèdent une grande ville et les autres. En effet, Zurich, Bâle-ville et Genève ont des soldes largement positifs. Viennent ensuite les cantons de Berne et Zoug qui restent également confortablement positif. Puis nous trouvons une majorité de cantons qui sont très proches d'un solde nul, c'est le cas des petits cantons comme Uri, Obwald, le Jura, qui offrent moins de places de travail que les «cantons villes», et qui y envoient des travailleurs, mais également des grands cantons comme les Grisons, le Tessin, le Valais. Comme nous l'avons expliqué, le solde est une différence de pendulaires entrants – sortants. Un canton peut dès lors avoir un solde très proche de zéro et avoir tout de même de très nombreux pendulaires. C'est par exemple le cas de Lucerne, qui en 2000 avait plus de 20000 pendulaires¹⁸ entrants et sortants. Les sept cantons largement négatifs, Schwytz, Fribourg, Soleure, Bâle-campagne, Argovie, Thurgovie et Vaud dépassent un solde négatif de -10000 pendulaires. Deux cantons vont bien au-delà avec environ -30000 pour Bâle-campagne et -40000 pour l'Argovie. Ces derniers cantons sont à l'origine des principaux flux alimentant les deux plus gros soldes positifs du pays, Bâle-ville et Zurich.

Il n'y a pas eu de grands changements durant les dix années qui séparent les deux jeux de données. Lorsque le solde pendulaire était positif en 1990, il l'est également en 2000. La remarque est également valable lorsque le solde était négatif.

Il n'est pas réellement possible de dégager des tendances sur le comportement pendulaire en observant que cet histogramme. Beaucoup plus de données seraient nécessaires pour vérifier sur le long terme si certains cantons évoluent dans un sens ou dans l'autre. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de voir que pour un canton dont le solde est fortement positif, il existe généralement un canton au solde fortement négatif associé, comme Zurich qui est alimenté par l'Argovie, Bâle-ville alimenté par Bâle-campagne, Genève dont de nombreux pendulaires viennent du canton de Vaud.

18 OFS: Recensement fédéral 2000: Lucerne pendulaires entrants: 21875 et sortants: 24847

L'histogramme précédent (figure 1) ne tient également pas compte des pendulaires étrangers. Grâce à sa position géographique centrale et son économie attractive, la Suisse attire quotidiennement de nombreux pendulaires venant des pays voisins. En tenant compte des pendulaires entrants frontaliers, le solde pendulaire se voit modifié pour plusieurs cantons, et cela de façon assez radicale.

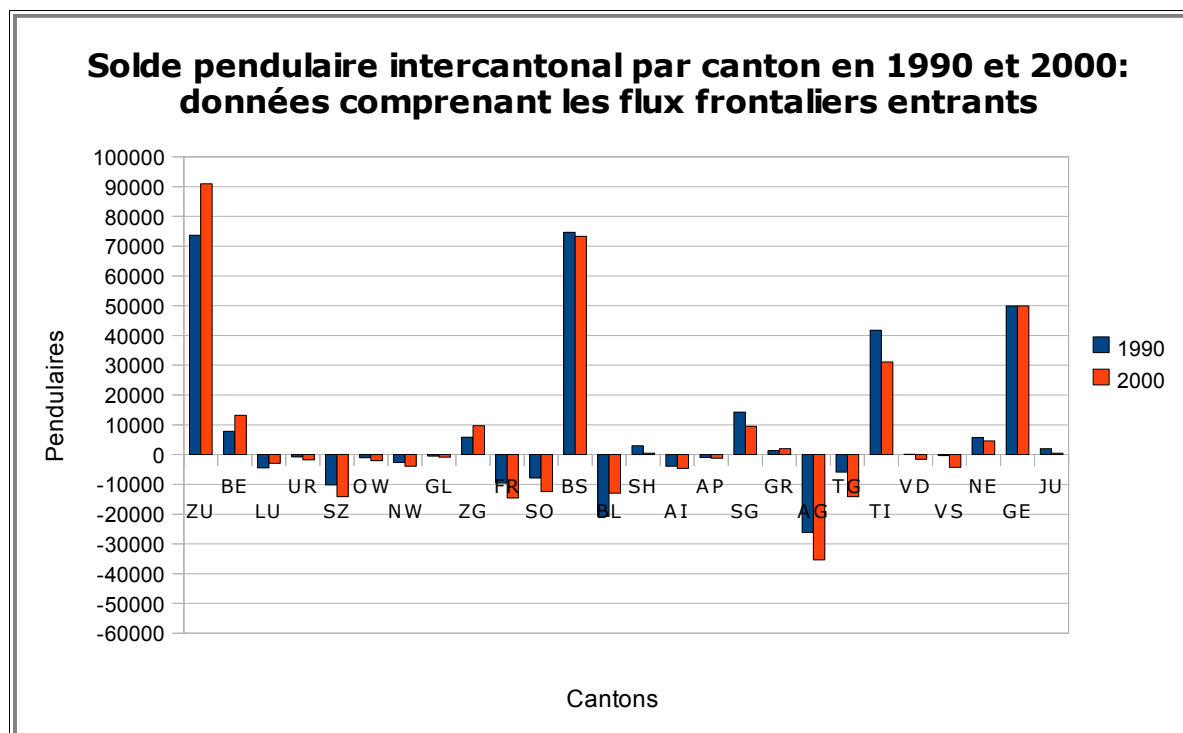


Figure 2: Solde pendulaire intercantonal par canton en 1990 et 2000: les données tiennent compte des flux frontaliers entrants.

Sur ce second histogramme, nous pouvons voir l'influence qu'exercent les frontaliers sur le phénomène pendulaire helvétique. Sur le premier histogramme, Zurich et Bâle-ville étaient les deux cantons ayant un solde fortement positif. Nous les retrouvons ici accompagnés de Genève, beaucoup mieux marqué cette fois, et un nouvel arrivant : le Tessin. L'ajout des pendulaires frontaliers nous permet de corriger l'image de certains cantons, dont le volume de frontaliers est parfois plus important que celui des pendulaires intercantonaux.

Nous pouvons voir sur les graphiques suivants la masse de travailleurs pendulaires pour les deux recensements 1990 et 2000.

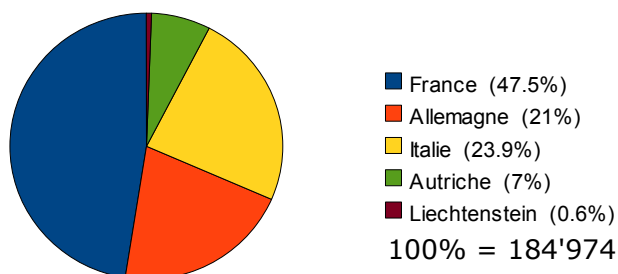


Figure 3

Avec près de 47.5% en 1990 et 51.6% en 2000, la France arrive en première place en tant que pays fournisseur de pendulaires à la Suisse. Le nombre total de pendulaires frontaliers a subi une baisse importante entre les deux recensements, cela peut venir d'un effet de conjoncture, mais aussi du fait que les données ne proviennent pas des mêmes organes (voir 4.3).

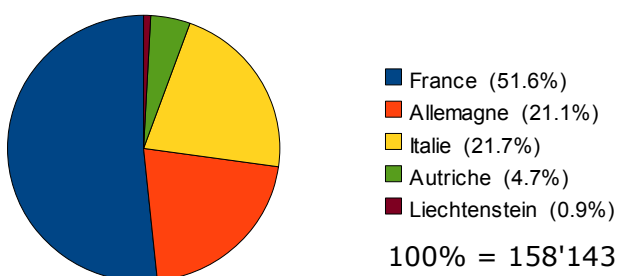


Figure 4

Ces deux figures offrent tout de même une hiérarchie parmi les Etats voisins. Nous verrons plus loin quels cantons sont les plus influencés par les pendulaires frontaliers (voir 5.3).

Figures 3 et 4: Origine en % des pendulaires frontaliers en 1990 et 2000.

Globalement, le nombre de pendulaires sortants du territoire national est relativement faible, et n'aurait guère influencé la construction du second histogramme (figure2).

	pendulaires sortants en 1990	pendulaires sortants en 2000	évolution en % (1990-2000)
France	1639	1501	-8.42
Allemagne	2198	1874	-14.74
Italie	2073	1213	-41.49
Autriche	183	192	4.92
Liechtenstein	2756	5591	102.87

Figure 5: Pendulaires nationaux sortants vers un Etat voisin 1990/2000.

Comme le montre le tableau ci-dessus, le Liechtenstein est le seul Etat frontalier qui reçoit plus de pendulaires qu'il n'en envoie lui-même en Suisse. Le canton de St-Gall alimente d'ailleurs à lui seul plus de 90% des pendulaires qui se rendent dans la principauté. Le volume des pendulaires sortants de Suisse vers les pays voisins est faible par rapport au volume total. Nous noterons quand même qu'en dix ans, la Principauté a plus que doublé le nombre de pendulaires suisses qui s'y rendent, alors que les autres pays voisins semblent perdre de leur attractivité pour les pendulaires helvétiques.

5.5 Mise en cartes des indices de pendularité

La carte est un des outils largement utilisé par le géographe. Pour se déplacer dans une ville, pour suivre un itinéraire en dehors des grands axes routiers, pour se localiser à la surface de la terre, nous avons toujours besoin de cartes. Elles permettent de comprendre le monde en donnant des représentations globales. Faciles à consulter, les cartes permettent également de communiquer une information géographique, ce qui leur donne un grand pouvoir de médiatisation (Béguin & Pumain 2007). Quelle que soit l'information que nous voulons montrer en utilisant la carte, la notion d'espace est toujours présente. Il existe de nombreuses définitions différentes de la carte, nous garderons celle de F. Joly (1976): «Une carte est une représentation géométrique plane simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre, et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle.»

Nos données de flux pendulaires permettent de calculer de nombreux rapports qui sont autant d'indices représentables sur des cartes. Nous avons choisi d'en reproduire quelques uns afin de cartographier certaines informations contenues dans nos données.

Les cartes ainsi obtenues sont une source d'informations immédiates, bien plus aisées à interpréter que nos matrices de nombres.

Nous avons décidé de mettre en carte trois indices, qui nous semblent intéressants concernant les pendulaires. Les chiffres par canton sont disponibles en annexe (annexe I). Rappelons qu'un pendulaire est une personne qui quitte son lieu de domicile pour se rendre sur son lieu de travail/étude (5.1). Les pendulaires intracantonaux sont pour chaque canton le plus grand nombre de pendulaires. Cela provient tout naturellement du choix hiérarchique choisi (voir 3.2). Il est nécessaire de décider quel type d'information nous voulons représenter, car les données mises en cartes expriment des choses bien différentes dépendant de la façon dont nous les représentons.

Voici les différents indices que nous avons calculés et mis en cartes:

$$RES = \frac{\text{Pendulaires intercantonaux entrants}}{\text{Pendulaires intercantonaux sortants}}$$

$$RII = \frac{\text{Pendulaires intercantonaux entrants}}{\text{Pendulaires intracantonaux}}$$

$$FRONT = \frac{\text{Pendulaires frontaliers entrants}}{\text{Total pendulaires entrants}}$$

Pour les rapports ci-dessus, les pendulaires intercantonaux sont ceux qui changent de canton pour exercer un emploi ou suivre des études, alors que les pendulaires intracantonaux restent dans le même canton. Les frontaliers sont les pendulaires des cinq Etats voisins de la Suisse.

Nous avons également produit une dernière carte (Figure 12) sur laquelle nous pouvons voir l'évolution de la pendularité intercantonale entre 1990 et 2000.

Nous avons retenu le premier indice (RES) afin de montrer pour chaque canton, s'il avait un caractère attractif ou répulsif pour les autres cantons. Le second (RII) a pour but de

montrer l'importance (ou non) des pendulaires intercantonaux pour chaque canton. Le dernier indice (FRONT) cherche à faire ressortir l'apport des pays frontaliers sur le marché de l'emploi en Suisse. Il est toujours possible de varier les paramètres de tous ces indices afin d'obtenir des informations particulières, comme par exemple calculer le rapport des frontaliers sur les intercantonaux entrants etc.

Pour la mise en classe de nos cartes, la méthode de discrétisation selon les quantiles pourrait être employée, comme avec n'importe quelle forme de distribution. Toutefois, elle n'est malheureusement pas très optimale dans la mesure où elle sacrifie une partie de l'information contenue dans la distribution (Béguin & Pumain 2007). C'est pourquoi nous utilisons ici des mises en classes par seuils, identiques pour les deux distributions de 1990 et 2000, afin de faire apparaître s'il y a lieu, une modification du nombre de cantons par classe.

5.5.1 L'indice «RES»

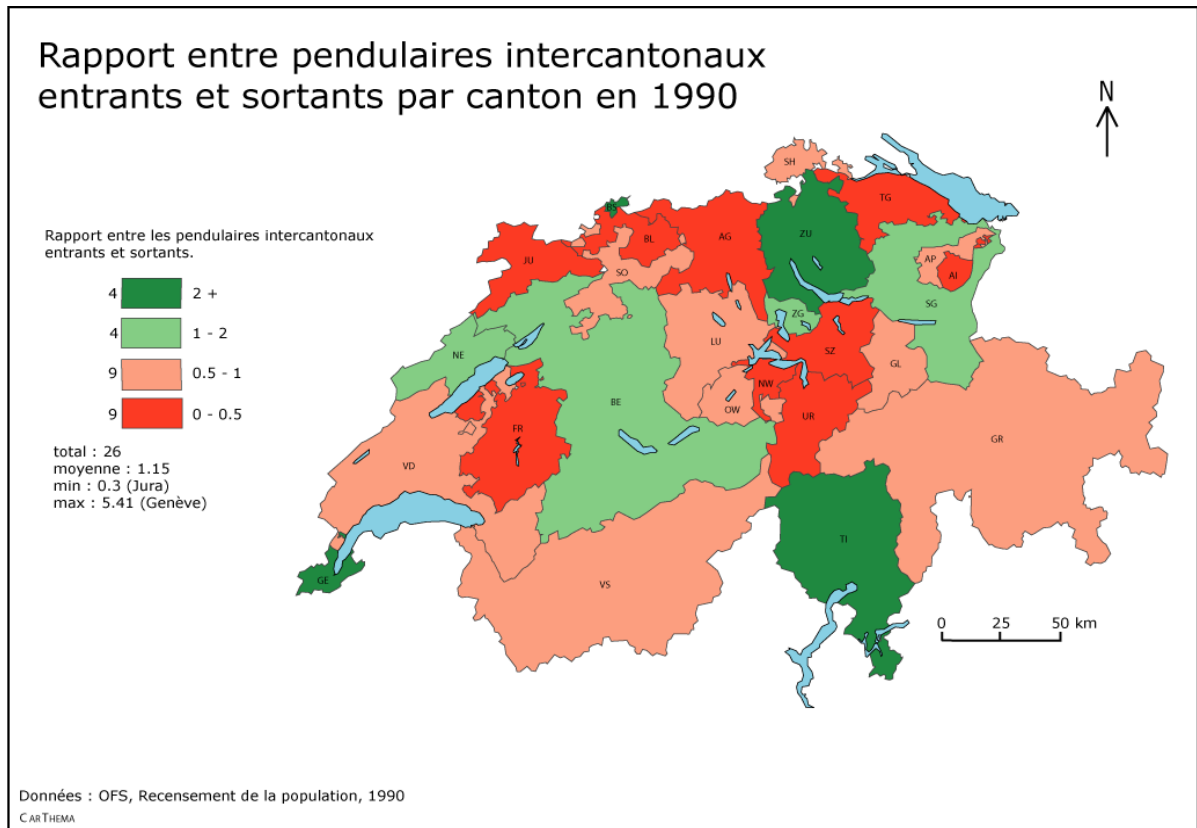


Figure 6

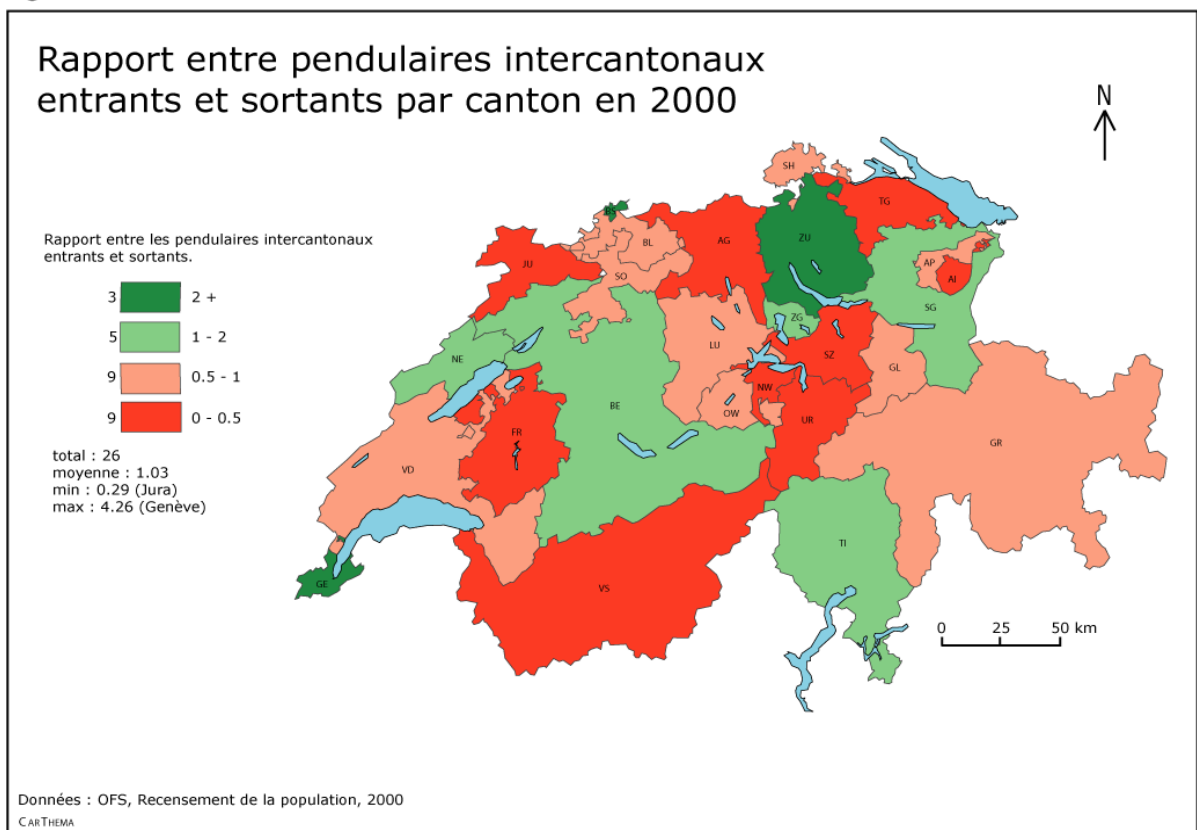


Figure 7

L'indice «RES» met en avant le rapport existant entre les pendulaires intercantonaux entrants et sortants de chaque canton. Ces deux cartes séparent les cantons en deux groupes, ceux dont le rapport est positif, c'est à dire qu'ils reçoivent plus de pendulaires qu'ils n'en envoient eux-mêmes, et ceux qui ont un rapport négatif, qui sont dans la situation opposée. Nous traiterons des deux cartes simultanément, en précisant les différences entre les deux années.

La première observation que nous relevons est que les cantons de Genève, Zurich et Bâle-Ville possèdent un rapport entrants/sortants élevé avec GE (5.4)¹⁹, ZU (3.9), BS (3.5). Le Tessin qui entre dans la même catégorie (1990) obtient lui une valeur de 2.6.

Les trois cantons cités en premier obtiennent des rapports élevés, cela s'explique facilement par le fait que chacun d'eux abrite une des trois plus grandes agglomérations du pays. Le marché de l'emploi est dès lors très attractif et draine de nombreux pendulaires des cantons voisins. Le canton du Tessin n'est pas à considérer comme faisant partie de ce groupe, l'indice RES de ce canton varie d'ailleurs fortement entre les deux recensement (2.6 en 1990 et 1.4 en 2000). Le faible nombre de pendulaires de ce canton fait qu'une augmentation ou une baisse, même légère du volume d'entrants ou de sortants, provoque une grosse différence sur notre indice. Cette remarque est valable pour tous les cantons à volumes pendulaires réduits.

Un second groupe, formé par des cantons de Berne, Neuchâtel, Zoug et St-Gall, semblent plus attractifs que répulsifs, sans pour autant être de réels pôles d'attraction. Les deux autres groupes de cantons sont ceux dont les pendulaires sortants sont plus nombreux que le nombre d'entrants. Les deux cartes sont encore une fois très similaires. Le Tessin rejoint une classe qui lui est mieux adaptée, le Valais semble perdre un peu de son attractivité et Bâle-campagne en gagner.

Nous remarquons que sur les deux cartes, les cantons aux rapports positifs sont toujours voisins à au moins un canton ayant un rapport négatif. Cette observation qui pourrait sembler triviale ne l'est pourtant pas. Cela montre que la Suisse possède plusieurs grands pôles d'attraction sur un territoire relativement restreint, et non pas un seul pôle centralisé comme pourrait l'être une ville américaine typique attirant à elle seule la totalité des flux pendulaires. Nous pourrions imaginer un canton de Zurich attirant les pendulaires de tous les cantons voisins, or ce n'est pas tout à fait le cas, puisque deux cantons voisins de Zurich possèdent également un rapport positif. Si nous n'avions que cette carte pour comprendre les flux pendulaires, il serait bien difficile de déterminer quel canton occuperait le rôle de «fournisseur de pendulaires» de tel autre canton. Il existe en Suisse une répartition des pendulaires en cascade, et non une migration massive de tous les cantons vers un point. Si les travailleurs de Nidwald se rendent principalement à Lucerne²⁰, ceux de Lucerne se déplacent vers Zoug.

Finalement, nous retiendrons de ces deux cartes que la Suisse possède trois pôles d'attraction bien marqués. Que l'indice «RES» sont stables entre 1990 et 2000 pour la grande majorité des cantons, et que deux tiers des cantons sont «fournisseurs» de pendulaires pour le tiers restant, avec de nombreuses imbrications et redistributions.

19 Les chiffres de tous les indices par canton peuvent être consultés en annexe (Annexe I)

20 Voir les matrices de flux de 1990 et 2000 (Annexes VI et VII)

5.5.2 L'indice «RII»

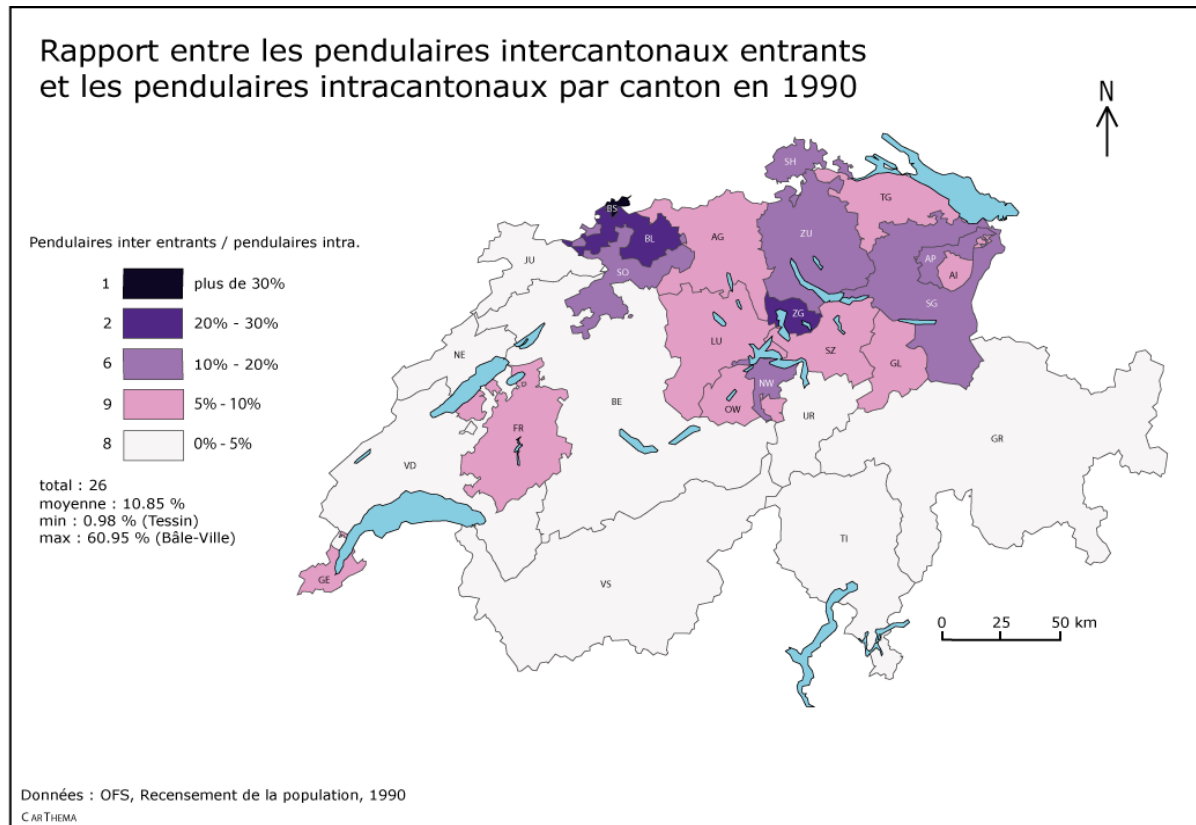


Figure 8

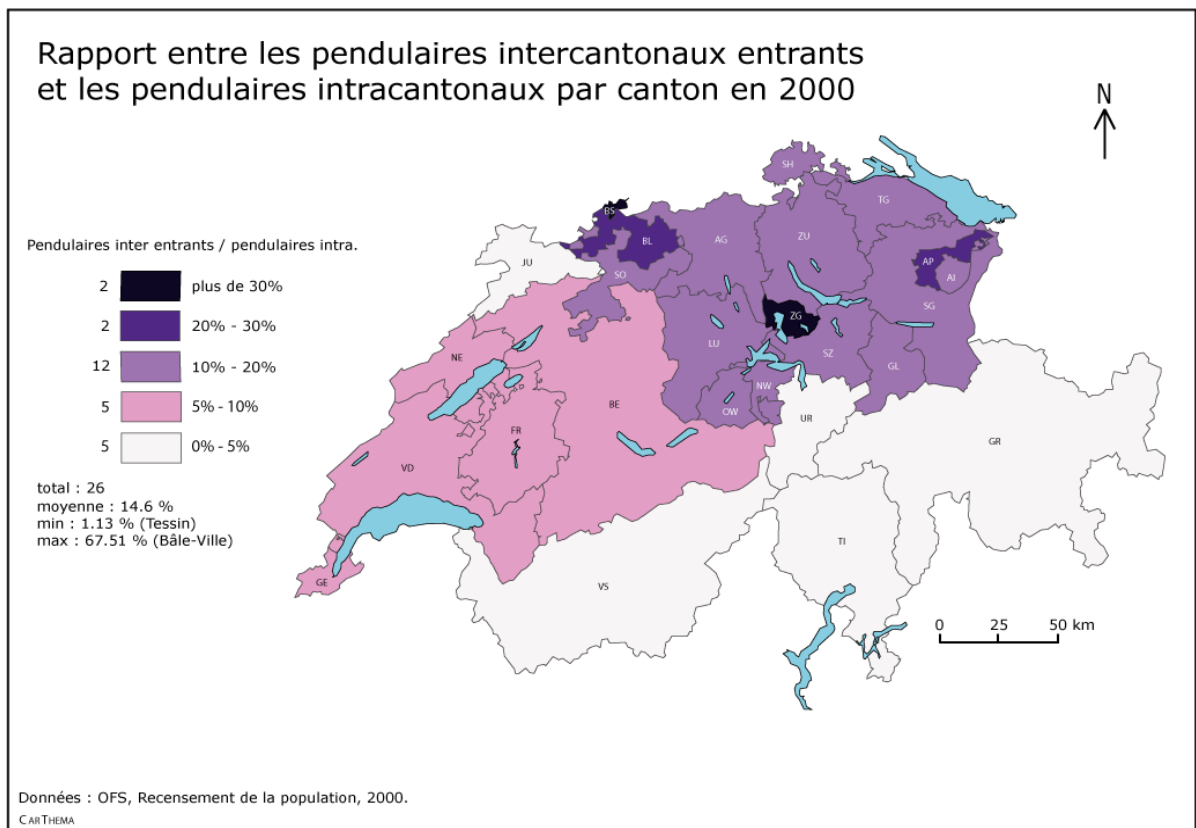


Figure 9

L'indice «RII» représente pour les années 1990 et 2000, le rapport entre les pendulaires intercantonaux entrants et les pendulaires intracantonaux. Il est intéressant puisqu'il montre dans quelles proportions les cantons dépendent des travailleurs d'autres cantons. Il est une information qui se voit immédiatement, c'est la division territoriale du pays selon cet indice.

Sur la carte de 1990 (figure 8), nous pouvons voir des groupes se dessiner, mais la carte de 2000 (figure 9) est beaucoup plus parlante. Sur cette dernière, trois groupes se distinguent assez nettement. Le premier est composé de cinq cantons : JU, UR, GR, VS et TI. Avec une proportion inférieure à 5% de pendulaires intercantonaux entrants, ces cantons sont très peu attractifs pour les pendulaires des autres cantons. Le second groupe est celui des cantons de l'ouest de la Suisse (sauf JU et VS), dont l'indice varie entre 5 et 10%. Le troisième et dernier groupe, formé grosso modo par le nord-est du pays et la Suisse centrale. Ils montrent une bonne homogénéité avec douze cantons entre 10 et 20%, deux entre 20 et 30% et deux à plus de 30% donc le score le plus élevé, BS (67.5%).

Après avoir analysé ces deux cartes, nous pouvons dire qu'il y a en Suisse, pour la période 1990/2000, une tendance à «l'intercantonalisation» de la pendularité. Ce qui signifie que dans tous les cantons²¹, la proportion de pendulaires intercantonaux augmente. De plus les pendulaires des cantons du nord, du nord-est et de la Suisse centrale semblent changer plus facilement de canton que ceux du reste de la Suisse.

²¹ Voir annexe I pour les chiffres des indices 1990 et 2000.

5.5.3 L'indice «FRONT»

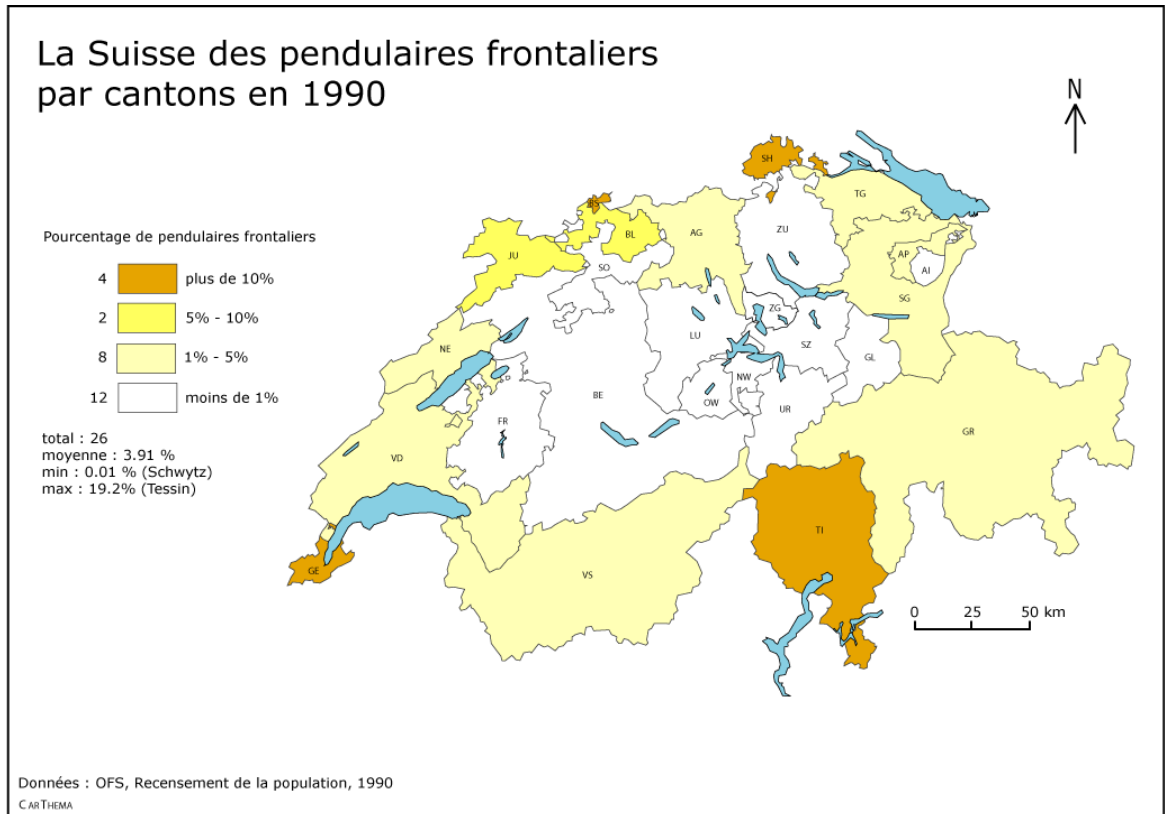


Figure 10

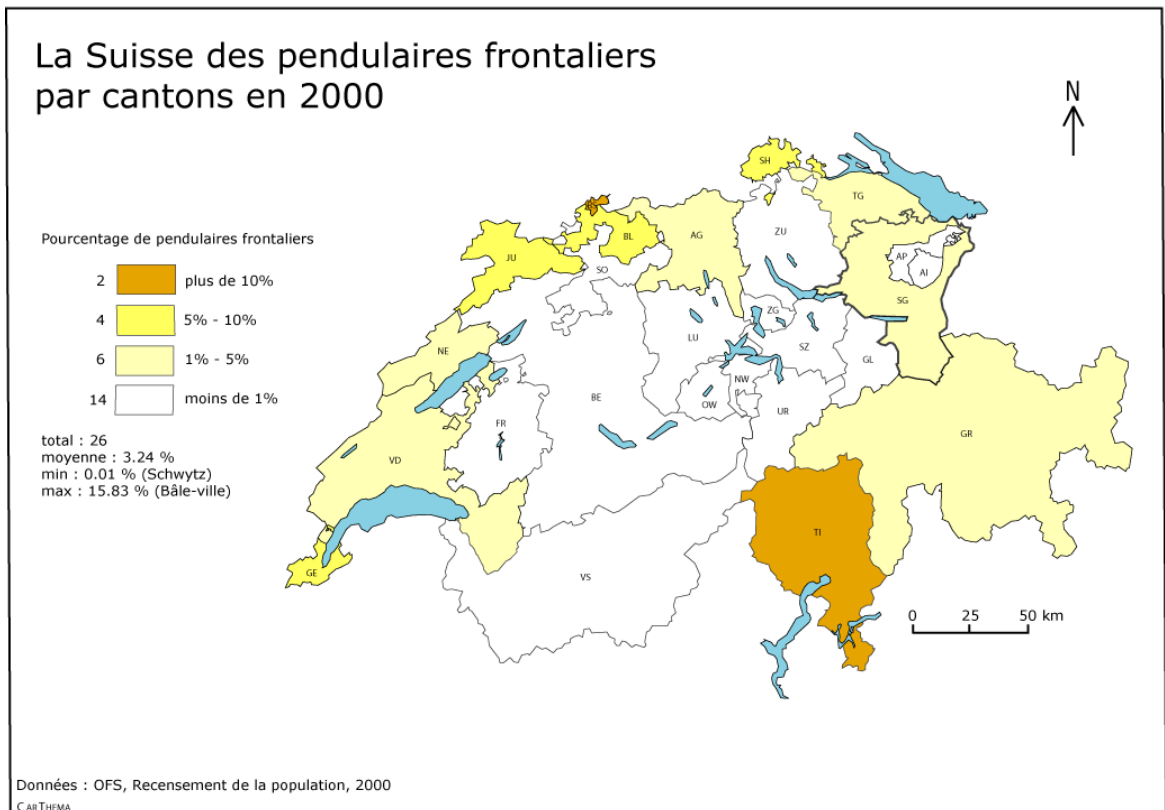


Figure 11

Bien que nous nous intéressions principalement aux flux pendulaires helvétiques, nous avons décidé de faire deux cartes concernant les pendulaires frontaliers entrants, afin que le lecteur puisse voir comment ils se répartissent sur le territoire. Les cartes que nous obtenons sont plus ou moins attendues, puisque les cantons aux frontières du pays sont les plus concernés, en particulier ceux qui sont presque enclavés à l'étranger, comme Genève, Schaffhouse ou encore Bâle-Ville.

Chaque canton possède ses frontaliers, le canton de Genève est attractif pour les Français, le Tessin pour les Italiens, Schaffhouse pour les Allemands, et Bâle-ville pour les Français et les Allemands. En dehors de ces quatre zones d'attraction plus forte, les cantons sont assez faiblement touchés par le phénomène frontalier (20 cantons ont entre moins de 5% de frontaliers). Berne, Fribourg et la Suisse centrale sont d'ailleurs très peu concernés par les pendulaires étrangers, ces cantons sont trop éloignés des frontières en pour être attractifs. Ces cartes montrent une Suisse cohérente par rapport à la pendularité frontalière, qui offre quelques points plus attractifs aux confins du territoire, mais plus on entre dans le pays, moins le phénomène est important.

Nous considérons que lorsque le nombre de frontaliers est inférieur au seuil de 1%, cela signifie que les cantons concernés sont moins attractifs. Le pouvoir d'attraction qu'un canton exerce sur un pendulaire est la somme de plusieurs facteurs variés comme son accessibilité, sa langue, sa position sur le marché de l'emploi, sa politique envers les frontaliers, etc. Il est en effet facile d'imaginer que le canton rural d'Uri, et le canton largement urbanisé de Zurich, qui possède une frontière avec l'Allemagne, soient dans la même catégorie pour des raisons différentes.

Globalement, il y a moins de pendulaires frontaliers en 2000 qu'en 1990 (voir 5.4). Ces deux cartes apportent une vision sur l'évolution des flux en Suisse entre 1990 et 2000, avec des proportions plus fortes dans les extrémités du territoire lorsque la géographie n'impose pas de barrage naturel, des proportions modérées dans les cantons frontières, et des proportions moindres voire inexistantes dans les territoires centraux du pays.

5.5.4 Évolution pendulaire intercantonale entre 1990 et 2000

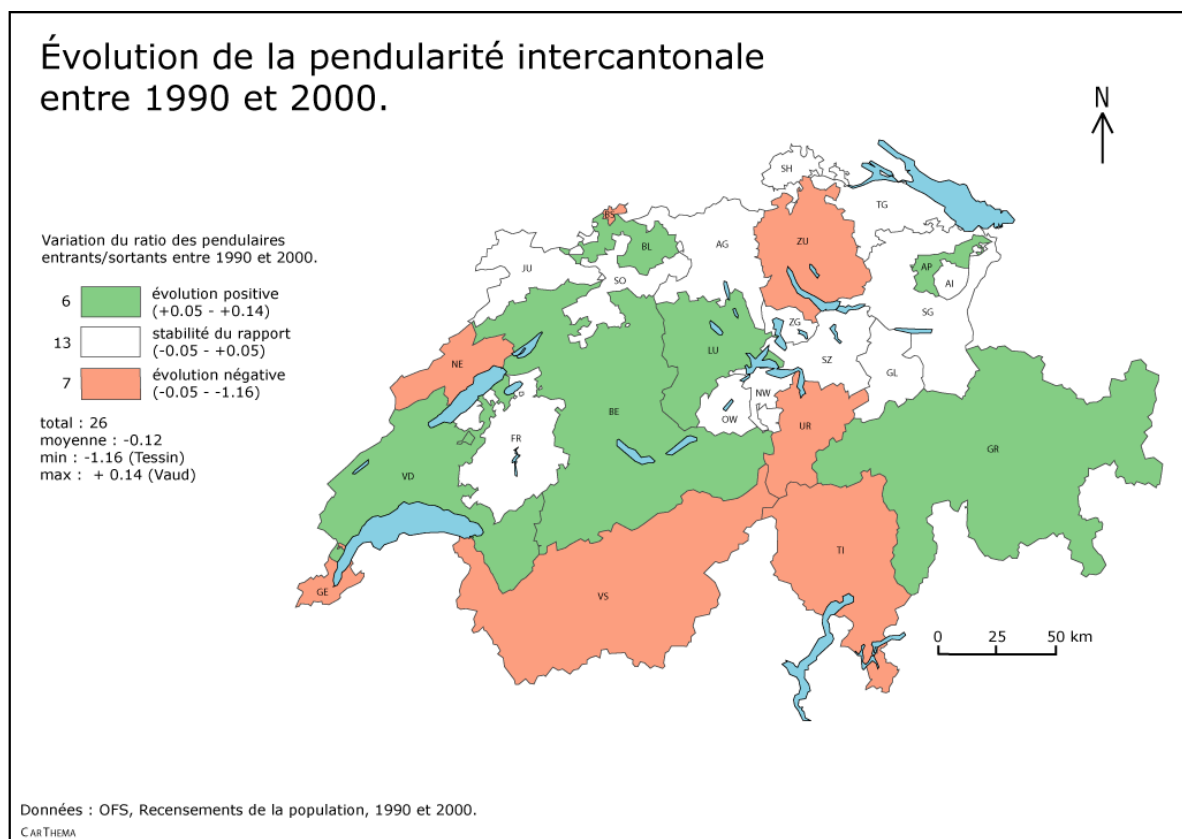


Figure 12

Cette dernière carte est un condensé des deux cartes de l'indice « RES » (Figure 6 et 7), elle résume l'évolution de la pendularité intercantonale d'un recensement à l'autre. Nous voyons que par rapport à 1990, six cantons augmentent leur solde entrants/sortants, sept le diminuent, et treize restent dans une fourchette que nous considérons comme stable. C'est une carte de la Suisse teintée par l'évolution de l'attractivité des cantons en terme de pendularité. Nous avons tenu à faire figurer cette carte, car elle pourrait s'avérer utile comme point de comparaison intéressant face aux résultats des FGR que nous allons effectuer.

6. Reconstruction par FGR

6.1 sorties graphiques et analyses des résultats

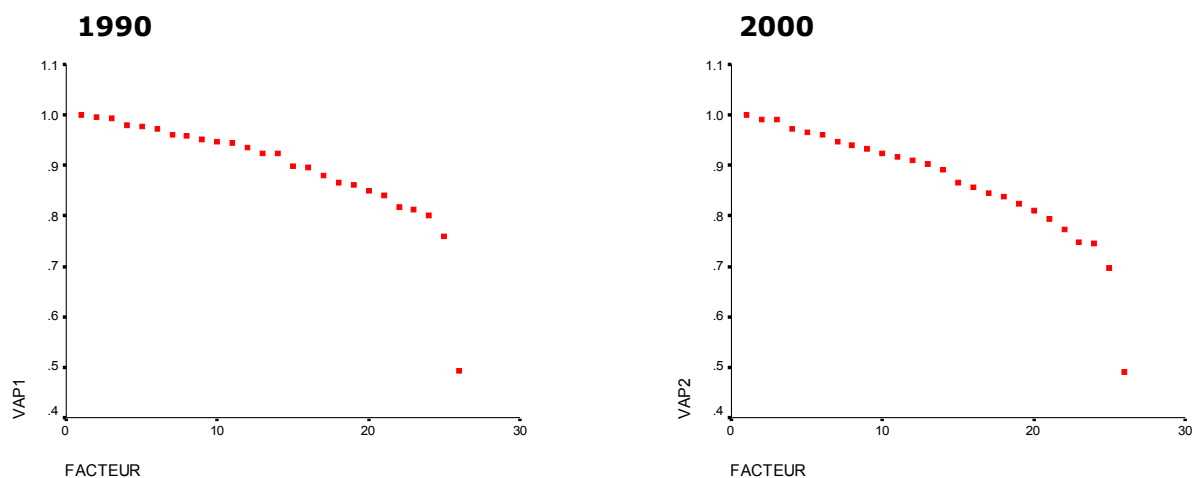
Nous avons vu au chapitre 3 comment s'articulait le technique de reconstruction par FGR. Les matrices de flux pendulaires que nous avons créées à l'aide des recensements 1990 et 2000 vont être utilisées dans le script de base (annexe III), afin d'obtenir la matrice des coordonnées des cantons. En utilisant ces coordonnées (ce sont des facteurs en quelque sorte) pour produire des graphiques, nous reconstruirons des espaces géographiques basés uniquement sur les flux pendulaires.

6.1.1 Remarques sur la production des graphiques

Lors de la création des graphiques pour les années entre 1990 et 2000, il arrive que le résultat soit inversé. Ces inversions, lorsqu'elles existent peuvent avoir lieu sur un axe (le cas le plus fréquent) ou sur les deux. Cela provient de l'algorithme utilisé par le logiciel SPSS, qui procède par itération pour trouver la meilleure solution possible au problème posé. Puisque nos données (1990 et 2000) ne sont pas strictement identiques, il arrive que le logiciel oriente le vecteur propre recherché de façon différente. Rappelons qu'un vecteur propre est défini à un signe près, qui donne l'orientation du vecteur, mais que le vecteur propre reste le même. Pareillement, il arrive par exemple que le facteur 6 de 1990 soit le facteur 7 de 2000. Pour une meilleure lisibilité et pour que la comparaison entre les deux années recensées soit facilitée, nous avons réorienté les vecteurs propres de l'année 1990. Nous aurions bien entendu pu effectuer cette opération sur les vecteurs de 2000. Vous pourrez voir ces modifications sur les graphiques factoriels, lorsque les « col » (colonnes de la matrice) représentants les facteurs sont complétées par un « i ».

L'information qu'apporte les différents facteurs de nos matrices de coordonnées diminuent généralement très rapidement après les deux ou trois premiers facteurs. Pour vérifier que c'est bien le cas ici, nous allons faire les scree plot des valeurs propres de nos deux matrices. Cela permet d'avoir une idée du facteur à partir duquel, l'information n'apporte plus rien (ou presque).

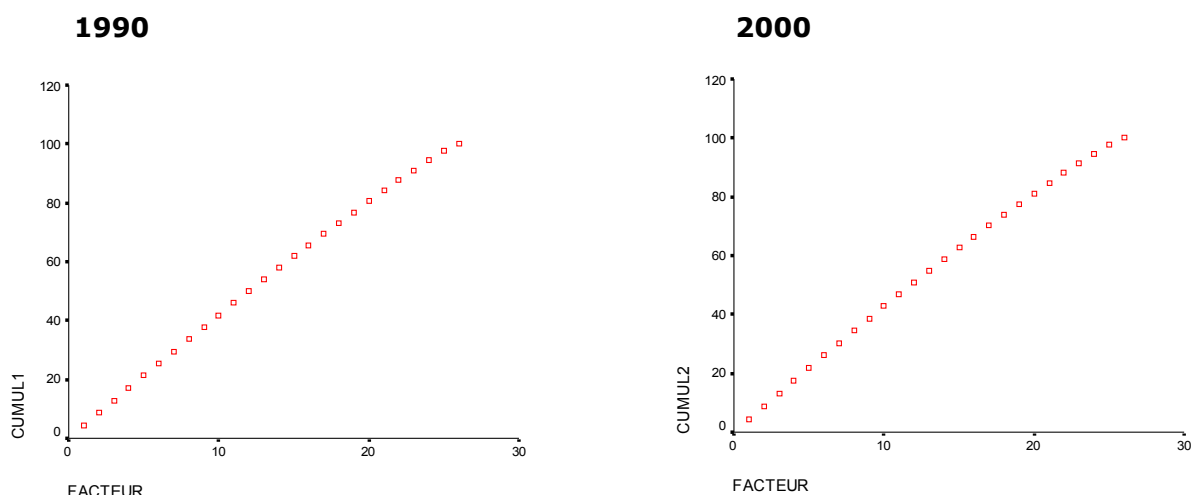
6.1.2 Scree plot des valeurs propres



Figures 13 et 14

Ces scree plot dévoilent une situation plutôt particulière. Comme dit ci-dessus, nous pouvions nous attendre à une information importante provenant des premiers facteurs, puis une chute pour les facteurs suivants qui n'auraient eu qu'une influence très faible sur le résultat explicatif. Or ce n'est pas le cas ici. Comme le montre les deux scree plots, la valeur explicative des facteurs décroît très lentement de façon régulière, et nous observons un écroulement important seulement sur le dernier facteur. Les valeurs explicatives cumulées des valeurs propres ne font que confirmer l'importance quasi similaire de chaque facteur.

6.1.3 Pourcentage cumulé des valeurs propres



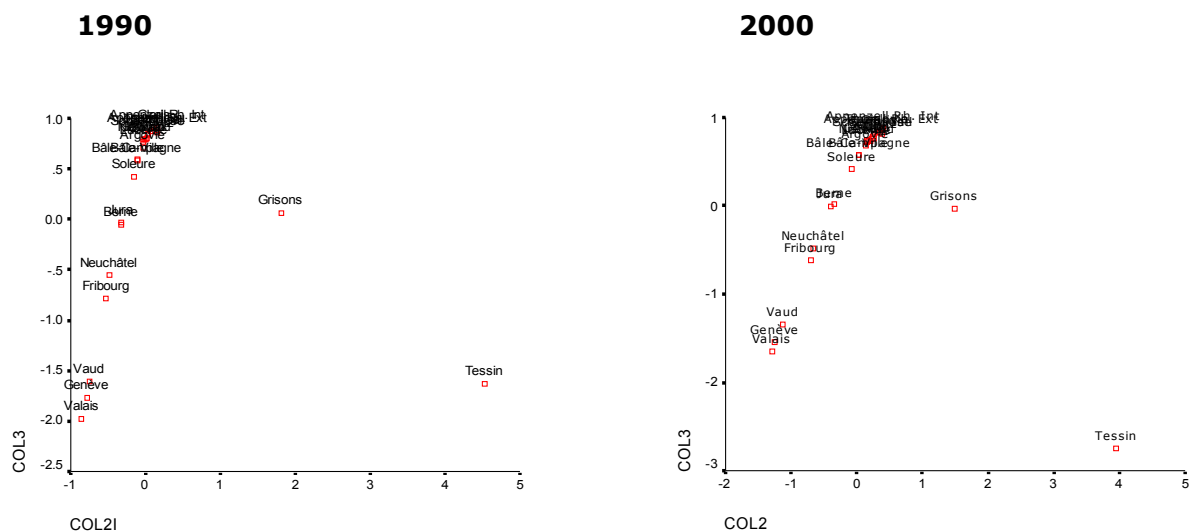
Figures 15 et 16

L'explication statistique de cette forme particulière de scree plots se trouve dans la ressemblance de nos matrices (de flux) avec une matrice identité. Rappelons qu'une matrice identité est composée de 1 sur la diagonale et de 0 partout ailleurs. Cela implique que les valeurs propres d'une telle matrice sont toutes égales à 1 et qu'un scree plot de ces valeurs propres forment une droite.

Notre situation est très similaire à une matrice identité car les diagonales de nos matrices de flux ont un poids très fort par rapport aux autres champs. Ainsi les données issues des pendulaires telles que nous les avons compilées présentent des valeurs propres très proches les unes des autres. Nous verrons au chapitre 7 que la suppression de la diagonale modifie passablement ce résultat.

Puisque ce travail se veut en partie exploratoire et que les scree plot nous montrent une situation particulière, nous avons décidé d'analyser les 26 facteurs pour les deux années. Il sera certainement difficile de commenter une grande partie d'entre eux, mais cela peut-être intéressant de pousser jusqu'au bout de la méthode en allant observer ce que peuvent nous apprendre les derniers facteurs. Pour une question de facilité, nous analyserons les graphiques de 1990 et ceux de 2000 en même temps. S'il existe des différences majeures entre les deux années, elles n'apparaîtront que mieux en regardant les graphiques simultanément.

6.1.4 Reconstruction et analyse des résultats



Figures 17 et 18 : facteurs 2 et 3

Ces graphiques sont les premières reconstructions que nous avons déjà souvent évoquées.

La première information que nous pouvons extraire de ces graphiques est que tous les cantons majoritairement francophones se situent dans le bas du graphique, avec des valeurs négatives sur le facteur 3. Si nous retenons la langue comme explication de ce facteur, les cantons romands devraient s'opposer au reste des cantons. Nous distinguons un petit groupe Valais (VS) Genève (GE) et Vaud (VD) qui se positionnent en bas du graphique, puis en suivant l'axe de ces trois cantons, viennent ceux de Neuchâtel (NE) et de Fribourg (FR). Le canton du Jura (JU) est le seul canton romand à avoir une valeur faiblement positive alors que nous aurions eu tendance à lui donner une valeur négative. Berne (BE) est également très faiblement positif, mais c'est une place que nous nous attendions à voir. En effet, le fait d'être un canton bilingue, de taille importante, situé géographiquement à peu près au centre de la Confédération, fait du canton de Berne un candidat idéal pour représenter la zone tampon entre les deux principales langues de la Suisse.

Les cantons de Suisse alémanique forment un nuage de points relativement compact avec l'Argovie (AG), Lucerne (LU), Obwald (OW), Nidwald (NW), Uri (UR), Schwytz (SZ), Glaris (GL), Zurich (ZU), Zoug (ZG), Schaffhouse (SH), la Thurgovie (TG), Saint-Gall (SG), et les deux Appenzell : Rhodes-extérieures (AP) et Rhodes-intérieures (AI).

S'échappent légèrement de ce nuage, les cantons de Soleure (SO), Bâle-Ville (BS) et Bâle-Campagne (BL). Vu la configuration graphique issue de ces deux facteurs, il était attendu que certains cantons se positionnent entre les cantons francophones et ceux de langues allemandes, comme c'est déjà le cas pour Berne. Ces trois cantons forment une zone continue du nord-ouest de la Suisse, et si nous ajoutons Berne, il ne manque que le Valais pour couper la Suisse en deux. Mais le Valais ne répond pas à cette attente, au contraire loin de se rapprocher des cantons germanophones, il obtient la valeur la plus basse sur le facteur 3.

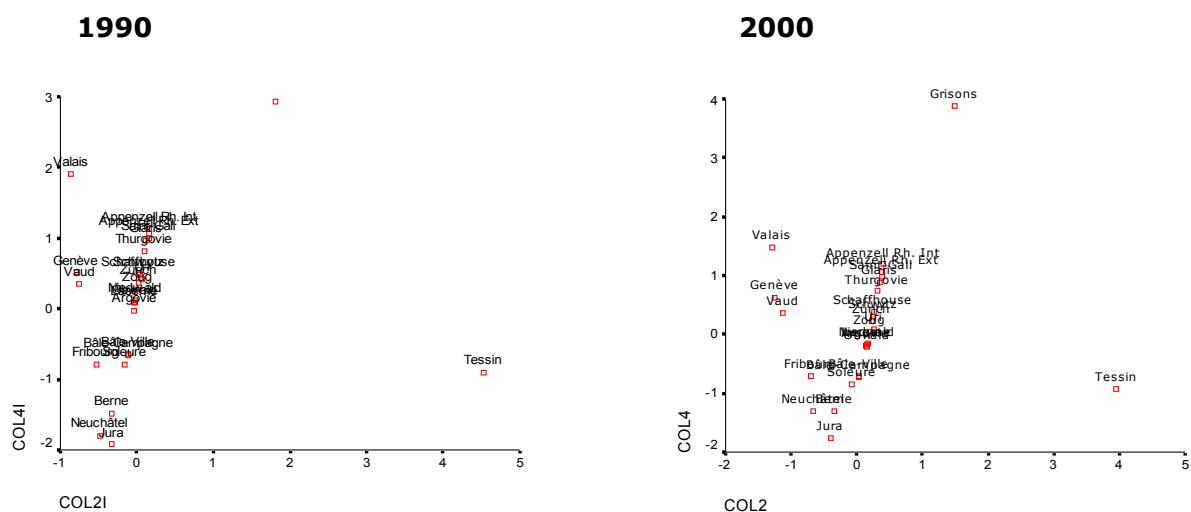
Le canton des Grisons (GR) s'oppose aux cantons romands de la même façon que les autres cantons de langue allemande. Il se distingue toutefois par sa position éloignée des autres cantons sur l'axe du facteur 2. Finalement il ne semble appartenir à aucun groupe, bien qu'il soit plus proche des cantons alémaniques que des cantons romands. Le canton du Tessin (TI), avec un score négatif sur l'axe du facteur 3 rejoint les cantons romands

dans son opposition aux cantons de langue allemande. Toutefois, il ressort assez clairement qu'il ne peut être mis dans la même catégorie puisque son score sur l'axe du facteur 2 est de loin le plus élevé de tous les cantons avec presque 5. Il se démarque ainsi également des cantons francophones. Le Tessin tient un rôle d'outsider tant sur le facteur 2 que le facteur 3. Son isolement vis à vis de la langue, mais également par sa position géographique ressort parfaitement sur ce graphique.

Nous pouvons dire que le facteur 2 représente une position géographique des cantons sur un axe ouest-est. Il y a fatalement quelques différences avec la position réelle des cantons mais cela s'explique d'une part par le fait de générer un espace en deux dimensions, alors que nous pourrions en utiliser 25 (26-1 premier facteur trivial), et d'autre part, que nous essayons de construire un espace à partir de flux pendulaires. Approcher de la réalité géographique est déjà très encourageant.

Le facteur 3 concerne plutôt les différences de langues entre les cantons suisses. Il distingue largement les cantons germanophones des cantons parlant une autre langue. L'italien, parlé principalement au Tessin, et le romanche, bien que peu utilisé, l'est encore à divers endroits des Grisons. Ces deux derniers rejoignent les cantons romands dans cette opposition aux groupes des germanophones.

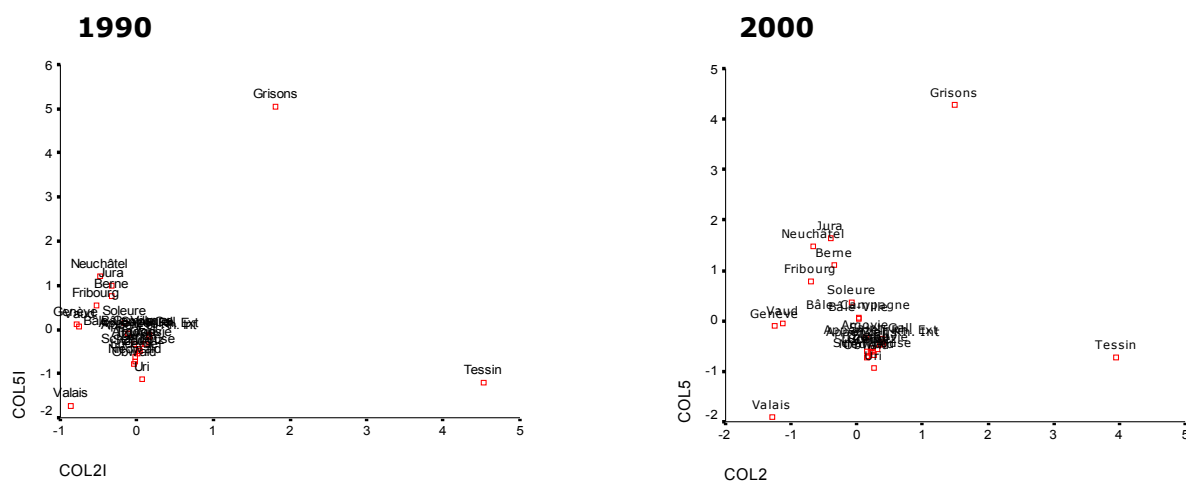
Ces deux facteurs forment un ensemble assez cohérent, et nous retrouvons une version approximative de la géographie helvétique, avec un grand axe ouest-est et des cantons outsiders qui forment le sud des Alpes et l'est du pays.



Figures 19 et 20 : facteurs 2 et 4

Afin de voir l'information apportée par le quatrième facteur, nous le représentons ici avec le facteur 2, celui que nous avons qualifié de «position géographique». Le quatrième facteur met en avant un groupe de trois cantons, BE, JU et NE. Nous l'interprétons comme le lien qui unit les cantons du Jura physique, face aux autres cantons. Un autre groupe est formé par les cantons de Soleure, Fribourg, Bâle-Ville, Bâle-Campagne et le Tessin. Ce dernier canton occupe une position à laquelle nous ne nous attendions pas sur ce facteur, car ces deux groupes se situent géographiquement à proximité du massif du Jura. Les valeurs les plus positives sont obtenues par le VS et les GR. Situés en majorité dans le massif alpin, nous pensons que le Tessin serait proche de ces deux cantons. Cela aurait formé un groupe de trois unités concentrées (ou tout au moins contigües, puisque l'addition des superficies des trois cantons occupe toute la partie sud du pays). Ce facteur 4 semble donc exprimer une opposition géographique entre le nord-ouest et le sud sud-

est de la Suisse. Mais cela reste difficile à interpréter au niveau cantonal, car d'une part le Tessin ne semble pas à sa place dans cette organisation et Berne par exemple est voisin du Jura mais aussi du Valais. Il est certain que la frontière naturelle qui sépare ces derniers joue un rôle dans le facteur 4, c'est pourquoi nous pensons qu'il s'agit néanmoins de l'opposition définie plus haut, avec un outsider incarné par le Tessin. Pour les données 2000, la configuration reste la même dans l'ensemble. Le canton des Grisons se détache plus encore du reste des cantons, et le Valais est légèrement moins éloigné. Nous restons toutefois dans une opposition du nord-ouest face au sud sud-est.

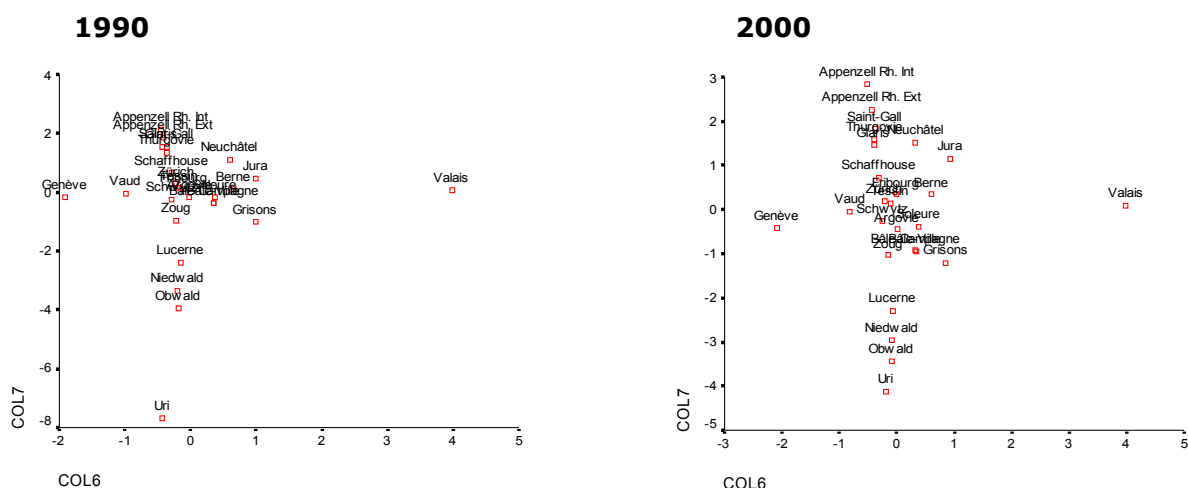


Figures 21 et 22 : facteurs 2 et 5

Sur le facteur 5, tous les cantons sont compris entre 2 et -2 sauf le canton des Grisons. Cela semble indiquer que ce facteur concerne principalement l'opposition des Grisons au reste des cantons suisses. La situation géographique et la faible densité de sa population²² sont des causes agissant fortement sur ce facteur, isolant ce canton du reste de la Suisse. En 2000, les Grisons se rapprochent du reste des cantons, mais reste à une position très démarquée, ce qui confirme l'explication que le facteur 5 est issu de l'influence de ce canton sur le reste du territoire.

Pour ne pas surcharger inutilement ce travail de nombreux graphiques supplémentaires, les facteurs suivants vont être regardés par paires. Nous avons gardé le facteur 2 pour les facteurs 3, 4 et 5 afin de distinguer plus simplement l'information fournie par chacun d'eux. Comme dit précédemment, l'information apportée par certains facteurs risque d'être difficile à expliquer.

²² Le canton des Grisons est le canton suisse le moins densément peuplé avec 26.8 hab/km² (chiffres de 2008), Source: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/02/blank/key/raeumliche_verteilung/kantone__gemeinden.html (consulté en septemembre 2009)

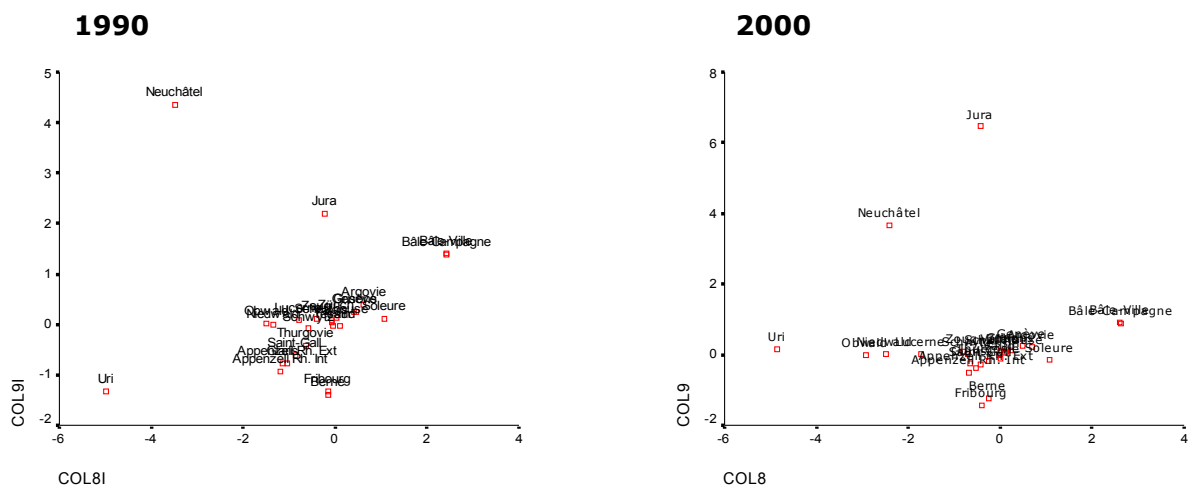


Figures 23 et 24 : facteurs 6 et 7

Ces graphiques reconstruisent un espace à l'aide des facteurs 6 et 7. Les graphiques des deux années sont très semblables, la valeur extrême d'Uri sur la figure 23 rend le résultat un peu moins lisible que pour l'année 2000. Sur le facteur 6, nous distinguons clairement une opposition entre le canton de Genève et du Valais. Les cantons de Vaud et du Jura se distinguent de façon moins nette, mais sortent tout de même du nuage formé par tous les autres cantons qui ont des valeurs qui oscillent autour du zéro. Nous pensons que cela présente une opposition entre les cantons de la région lémanique, soit GE et VD aux autres cantons romands, NE, JU, FR, BE (en partie) et VS.

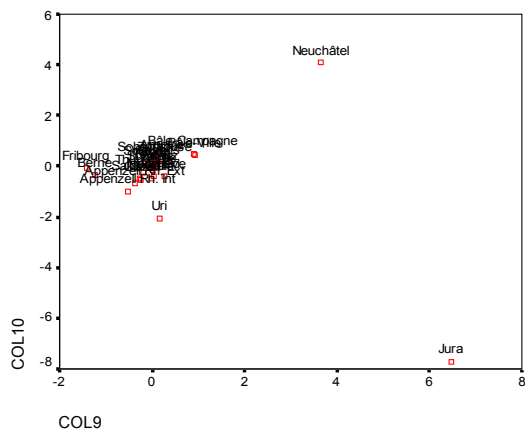
Le facteur 7 forme deux groupes plutôt cohérents. Un premier composé par les cantons de l'est de la Suisse, AI, AP, SG, TG et GL, et un second, qui comprend des cantons de la Suisse centrale, dont UR, NW, OW et LU. Le reste des cantons est dispersé dans une zone comprise entre 1 et -1, signifiant qu'ils n'ont pas beaucoup de poids dans l'interprétation de ce facteur.

Compte tenu des observations qui précèdent, nous aurions pu attendre les cantons de Schwytz (SZ) et de Zoug (ZG), plus proches de l'un ou l'autre de ces groupes, toutefois leur position sur le graphique reflète le fait qu'ils se situent bien entre ces deux groupes sur le territoire. En particulier SZ qui semble appartenir autant à la Suisse centrale qu'aux cantons plus orientaux du point de vue de la pendularité intercantonale.



Figures 25 et 26 : facteurs 8 et 9

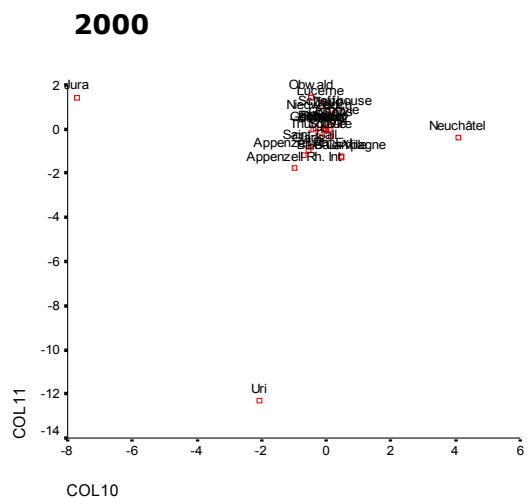
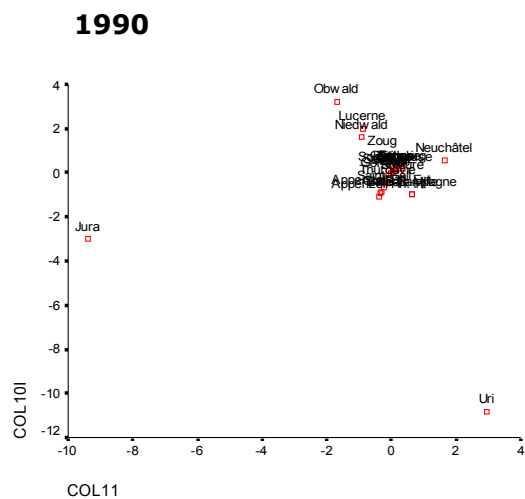
Le facteur 8 oppose les deux demi-cantons de Bâle-Ville (BS) et Bâle-Campagne (BL) du reste des cantons. Le fait que BS et BL soient très proches n'est pas une surprise puisque le lien qui les unit en terme de pendularité est très fort. Ils s'opposent principalement à UR et NE (1990), alors qu'en 2000, certains cantons de Suisse centrale ont tendance à se rapprocher d'Uri. Le facteur 8 est difficile à interpréter, nous ne distinguons rien de très particulier si ce n'est cette opposition.



Cet autre graphique créé à partir des facteurs 9 et 10 montre que le neuvième représente bien la relation existante entre les deux cantons JU et NE. et les autres cantons. Nous voyons plus distinctement que le JU possède des liens en premier lieu avec NE, puis les cantons de BS et BL. Il y a évidemment une grosse interrogation: pourquoi BE n'est-il pas plus proche du JU? Nous n'avons pas trouvé de réponse plus satisfaisante dans les chiffres.

Figure 27 : facteur 9 et 10 (année 2000)

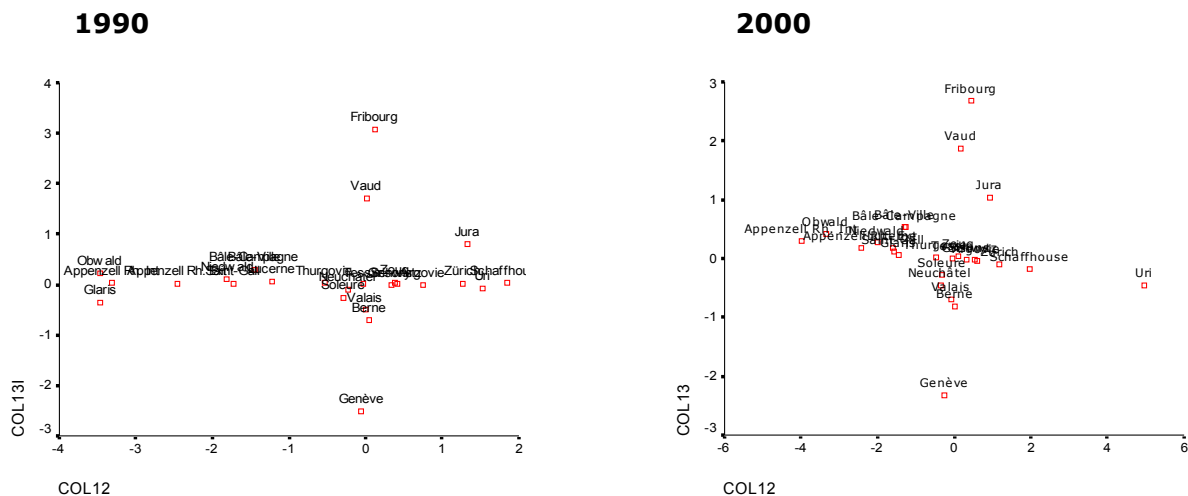
Si nous nous basons sur les figures 25 et 26, le facteur 9 fait ressortir les cantons du nord-ouest de la Suisse, NE, JU, BS, BL, et dans une moindre mesure, Soleure (SO) et l'Argovie (AG). Le fait que BE se trouve en opposition par rapport aux autres cantons du nord-ouest est un peu étonnant, cela nous suggère de rester très prudent quant à cette seconde interprétation.



Figures 28 et 29 : facteurs 10 et 11

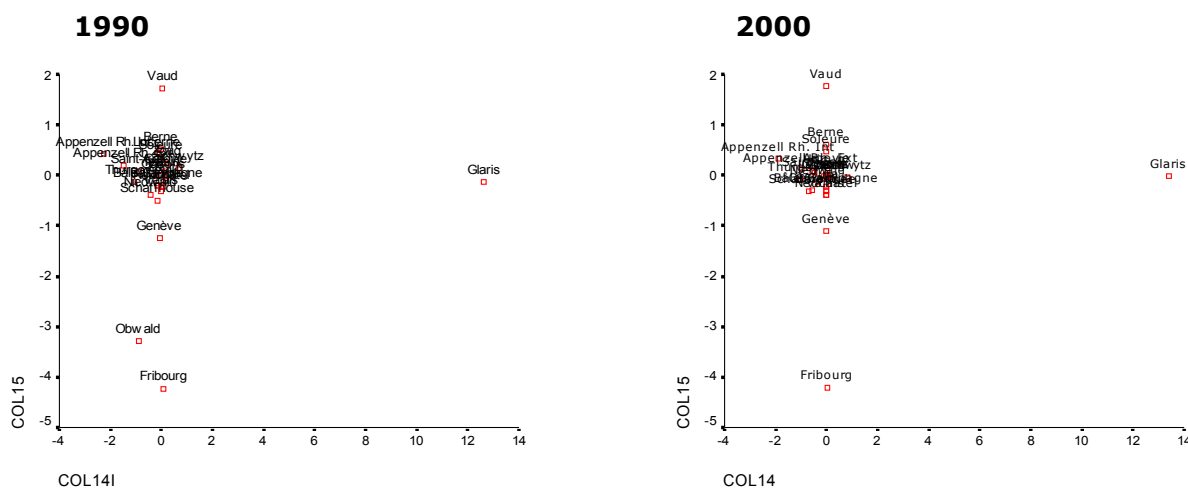
Nous avons ici une illustration de ce dont nous avons parlé au début de ce chapitre, à savoir que nous avons dû inverser les facteurs (figure 28) d'une des années pour obtenir des graphiques orientés de la même façon. Chacun de ces facteurs est intimement lié à un canton, le 10 au JU et le 11 à UR (nous nous basons sur la figure 29 pour savoir de quel facteur nous parlons). Nous pensons que nous arrivons dans des facteurs qui décrivent le lien d'un canton avec le reste des cantons, les facteurs suivants viendront confirmer ou non cette hypothèse. Le fait est qu'il n'y a pas d'explication solide de ces deux facteurs. S'il y a bien une opposition entre JU et NE sur le graphique 2000, il faut

bien avouer que pour 1990, l'effet est moins saisissant.



Figures 30 et 31 : facteurs 12 et 13

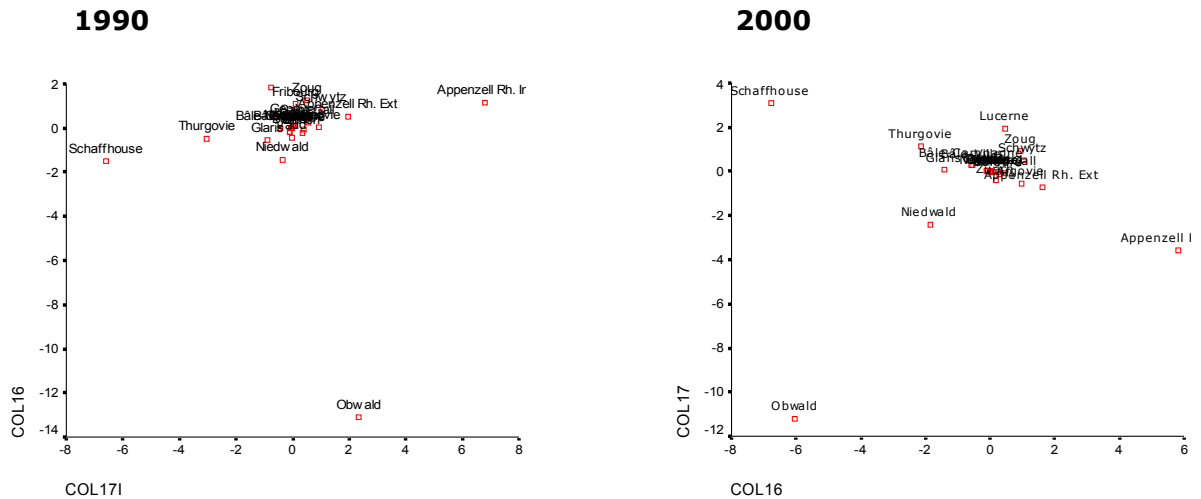
Les facteurs 12 et 13 forment une sorte de croix avec à l'horizontal les cantons germanophones et sur l'axe vertical les cantons romands. Le Tessin se place au milieu dans les deux graphiques, très proches de zéro sur les deux axes, signe qu'il n'occupe pas une place importante sur ces deux facteurs. Les cantons romands s'ordonnent visiblement en opposant GE à VD et FR principalement, et au JU de façon plus discrète. Le douzième facteur exprime comment s'organisent les cantons romands entre-eux. Nous trouvons également une organisation sur le facteur 13, avec les petits cantons ayant peu de pendulaires sur les extrémités, comme Obwald, les deux Appenzell, et les cantons plutôt urbains comme ZU, ZG, BS, GE, qui sont plus proches du centre. Toutefois, il y a de nombreuses exceptions à ce classement (GL, UR, JU VS) qui font que nous devons être prudent face à l'interprétation de ce facteur.



Figures 32 et 33 : facteurs 14 et 15

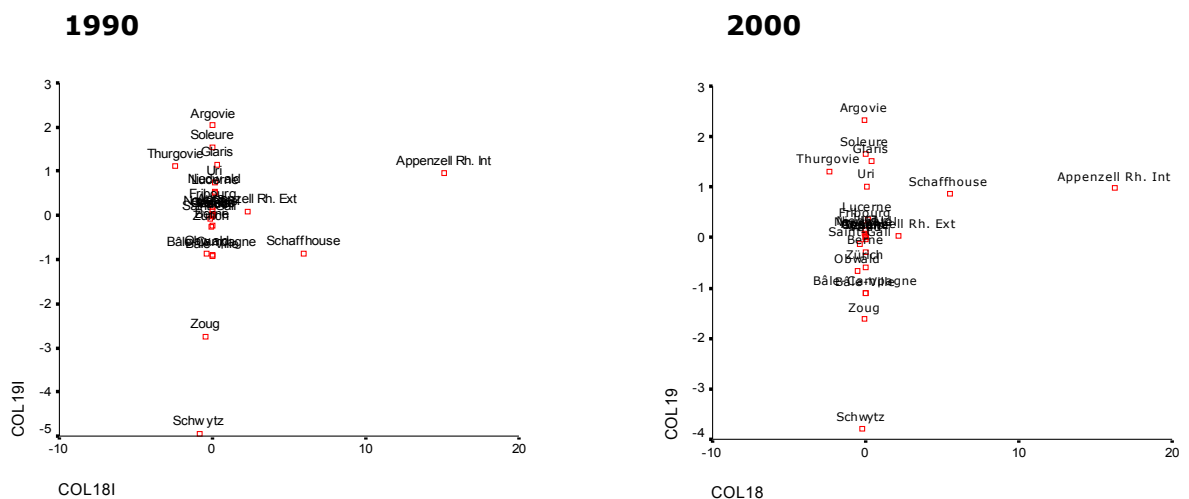
Sur les graphiques ci-dessus, le facteur 14 place le canton de Glaris par rapport aux autres cantons. Il est frappant de voir qu'il est très éloigné de tous les cantons. Les cantons avec qui Glaris échange une proportion de pendulaires non négligeable (pour GL) sont ZU, SZ et SG. Si le canton de Schwytz se distingue sur les graphiques, les deux

autres sont noyés dans le reste des cantons. Nous pouvons dire que Glaris est un petit canton qui exerce une influence limitée sur la pendularité en Suisse. Le quinzième facteur concerne plutôt les cantons romands de Vaud et Fribourg, mais il est difficile d'avancer une autre explication. Notons que le canton d'Obwald occupe une position très différente en 1990 et en 2000.



Figures 34 et 35 : facteurs 16 et 17

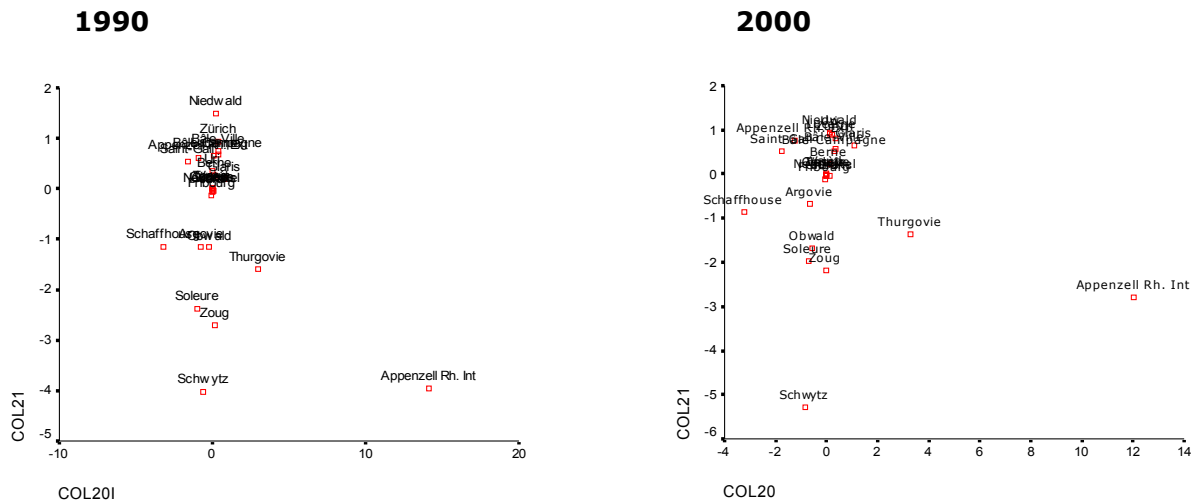
Nous pouvons voir deux axes se dessiner sur les figures 34 et 35. Le premier, celui du facteur 16 (ou 17i pour 1990), va de SH et AI, en passant par TG, AP et d'autres cantons, mais qui sont proches de zéro, indiquant qu'ils ne jouent pas de rôles prépondérants sur ce facteur. Le dix-septième facteur (seizième pour 1990) isole OW du reste de la Suisse faisant vraisemblablement dépendre ce facteur des liens qu'entretient ce canton avec les autres. A l'instar de Glaris, ces liens sont très faibles.



Figures 36 et 37 : facteurs 18 et 19

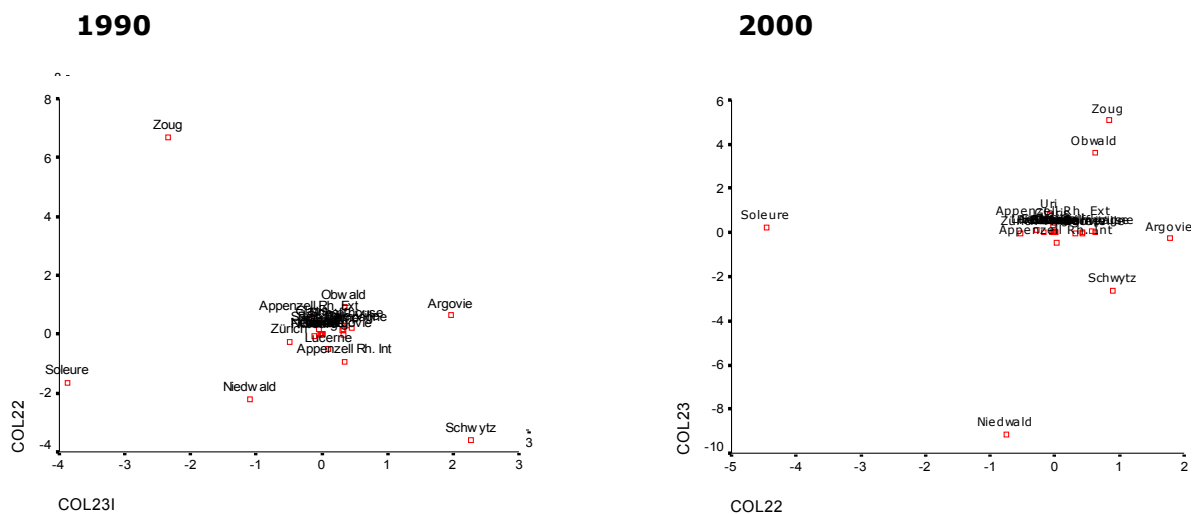
Il ressort des graphiques ci-dessus que le facteur 18 est celui d'Appenzell Rh. Int. de façon claire pour les deux années étudiées. Il ne s'agit pas du premier facteur qui semble isoler ce demi-canton, le fait est qu'avec un nombre de pendulaires très limité, et une position géographique particulière, AI se distingue souvent du reste de la Suisse. Bien qu'il occupe la place d'un demi-canton, il n'exerce quasiment aucune influence sur la

pendularité au niveau national. Le faible nombre de pendulaires sortants ou entrants en AI, qui est de cent fois inférieur à ceux de Zurich par exemple, ne plaide évidemment pas en la faveur de ce demi-canton. L'autre facteur représenté sur ces graphiques concerne en particulier le canton de Schwytz, mettant en avant les relations qui rapprochent ou éloignent les cantons de ce dernier. Toutefois nous tenons à redire que l'interprétation de tous les facteurs, comme nous essayons de le faire est une affaire délicate.



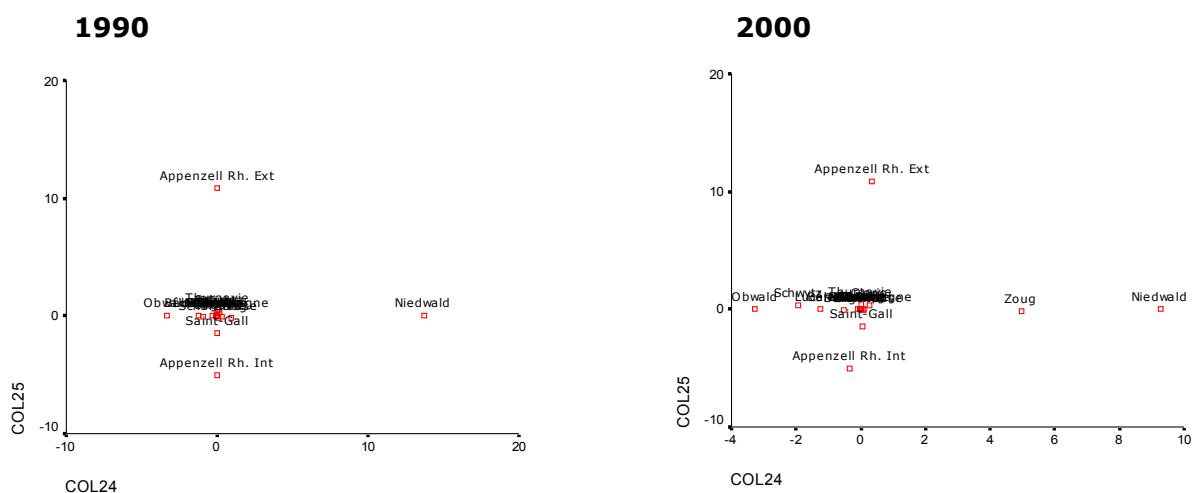
Figures 38 et 39 : facteurs 20 et 21

Les deux facteurs suivants ressemblent aux facteurs 18 et 19 que nous venons de voir. En effet, sur le facteur 20, le canton d' AI se place de façon similaire au facteur 18. Il s'ensuit que l'interprétation que nous pouvons donner est la même que pour le facteur précédent. Le canton de Schwytz lui est également isolé sur le facteur 21, mais il est pour 1990, accompagné du demi-canton d'Appenzell Rh. Int. Visuellement, la situation change légèrement pour l'année 2000, car l'écart entre AI les autres cantons comme ZG et SO, est plus discret. Le vingt-et-unième facteur varie donc passablement selon l'année du recensement, et nous ne parvenons pas à mettre le doigt sur une signification plus précise.



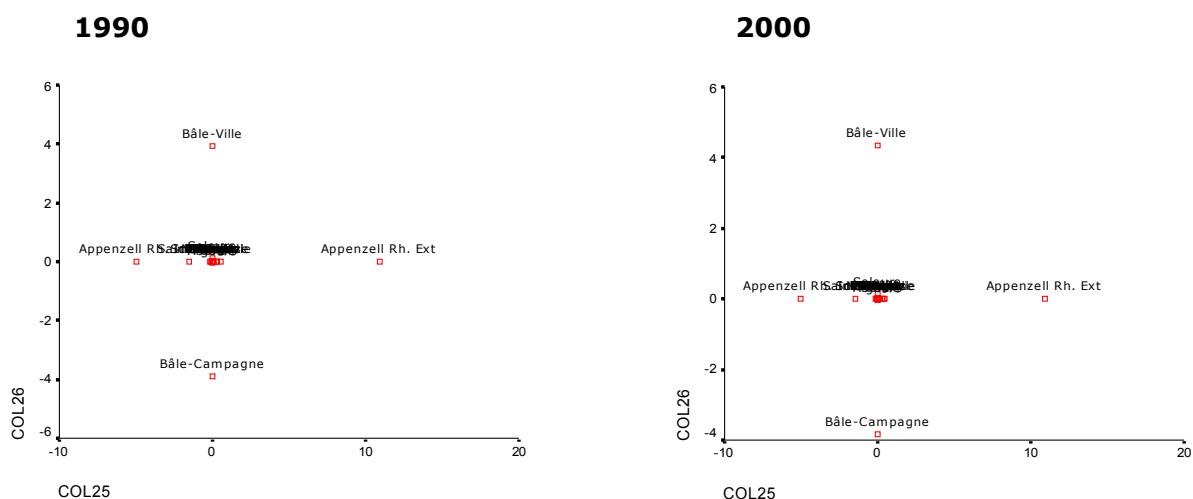
Figures 40 et 41 : facteurs 22 et 23

Il est compliqué de fournir une explication qui convienne aux deux années de chacun de ces facteurs. Nous pouvons noter certaines oppositions, entre divers cantons voisins. C'est le cas pour les cantons de Schwytz et Zoug, des cantons de Soleure et d'Argovie, et des demi-cantons d'Obwald et de Nidwald. Ces trois couples de cantons se retrouvent sur les deux graphiques, le facteur 23 de 2000 étant le vingt-deuxième pour 1990.



Figures 42 et 43 : facteurs 24 et 25

Comme nous l'avions imaginé, ces deux facteurs 24 et 25 montrent également des paires de cantons voisins, nous pouvons d'ailleurs retrouver pour l'année 2000, la paire SZ-ZG, bien qu'un peu moins marquée que sur les précédents graphiques. Pour 1990, il est bien difficile de distinguer autre chose que les paires OW-NW et AI-AP. En regardant plus précisément, nous pouvons voir une autre paire de cantons, SG-TG. Ces deux derniers cantons restent relativement proches, mais cela confirme la tendance à la formation de paire de cantons voisins.



Figures 44 et 45 : facteurs 25 et 26

Le vingt-sixième et dernier facteur met en évidence les demi-cantons de Bâle-ville et Bâle-Campagne. Nous nous attendions à retrouver ces demi-cantons sur un graphique, puisque les autres avaient déjà fait leur apparition sur les facteurs ci-dessus (OW-NW et

AI-AP). Ces facteurs ne sont pas une vue d'ensemble de la pendularité, mais une relation privilégiée entre les deux demi-cantons de Bâle, chacun étant pour l'autre son principal «fournisseur» de pendulaires.

6.2 Contribution géographique de ces reconstructions

La reconstruction de l'espace se basant exclusivement sur des données de flux (pendulaires pour notre cas) est une approche particulière, qui offre plusieurs avantages au géographe. Tout d'abord, l'analyse factorielle qu'elle contient fournit des informations géographiques qu'il s'agit d'expliquer en étudiant les axes des graphes générés. Nous avons pu déceler ainsi qu'il existait une frontière invisible qui séparait la Suisse en deux groupes assez distincts: celui des cantons romands, et celui des cantons germanophones. Il est clair que pour interpréter les axes, nous devons nous référer d'une part à ce que peut nous enseigner littérature géographique, et d'autre part à nos propres connaissances.

Les premiers facteurs nous montrent les grands axes de corrélation entre les cantons, et mettent en place la structure de l'espace. Par la suite, l'information fournie dévoile la relation particulière qu'entretiennent certains cantons entre eux. Les demi-cantons par exemple, fonctionnent par paires, avec un lien pendulaire puissant. D'autres cantons forment des triplets, c'est le cas des cantons de Neuchâtel, avec le Jura et Berne, ou encore Lucerne, Obwald et Nidwald.

Toutefois, il s'agit bien de partir des données pour construire un espace intimement lié à la thématique des données utilisées, puis de tenter d'expliquer les principales composantes qui ont formé cet espace. Les ajustements possibles sur les données en fonction des résultats du graphe, permettent à leur tour de recréer un autre espace, plus précis que le précédent. En procédant de la sorte, nous pouvons arriver à un espace reconstruit qui s'approche de plus en plus de la réalité, de la même manière que le modèle gravitaire a été amélioré au cours du temps, afin de toujours offrir un meilleure information géographique.

La reconstruction de l'espace des pendulaires intercantonaux nous pousse à chercher les contraintes qui peut gêner leurs déplacements. Il en existe de toutes sortes, mais les principales sont le plus souvent des contraintes de distances (en terme de coût, de temps etc), des barrières naturelles, (comme les montagnes, les lacs), des barrières culturelles, de langue, des frontières administratives, des raisons économiques, etc.

Il existe toujours plusieurs méthodes pour obtenir les informations souhaitées, en l'espèce, comment s'organise la pendularité intercantonale. La FGR a comme qualité de prendre sa source dans les données et d'en reconstruire l'espace. Pour nous, cet «espace des pendulaires» est soumis principalement à la friction de la distance, la barrière de la langue, et aux relations privilégiées entre des couples de cantons fortement corrélés. Au regard de ce que peuvent nous apprendre les vingt-cinq facteurs, ces trois contraintes expliquent la majeure partie de l'espace des pendulaires.

7. Modifications des données

Dans ce chapitre, nous allons tenter diverses expériences sur une de nos matrices de données. Nous ne ferons figurer ici que les tests effectués avec la matrice des pendulaires 2000, mais à titre informatif, les résultats des tests pour l'année 1990 ont montré les mêmes changements. Nous commencerons par modifier de différentes façons la diagonale de notre matrice. Puis nous incorporerons les données des pendulaires frontaliers afin de voir si les cantons les plus concernés voient leur position changer, et si oui de quelle manière. Enfin, nous effectuerons des classifications ascendantes hiérarchiques pour voir comment se regroupent les cantons lorsque nous varions le nombre de facteurs à retenir.

7.1 Tests sur la diagonale de la matrice 2000

7.1.1 Scree plot : matrice des pendulaires 2000 (sans diagonale)

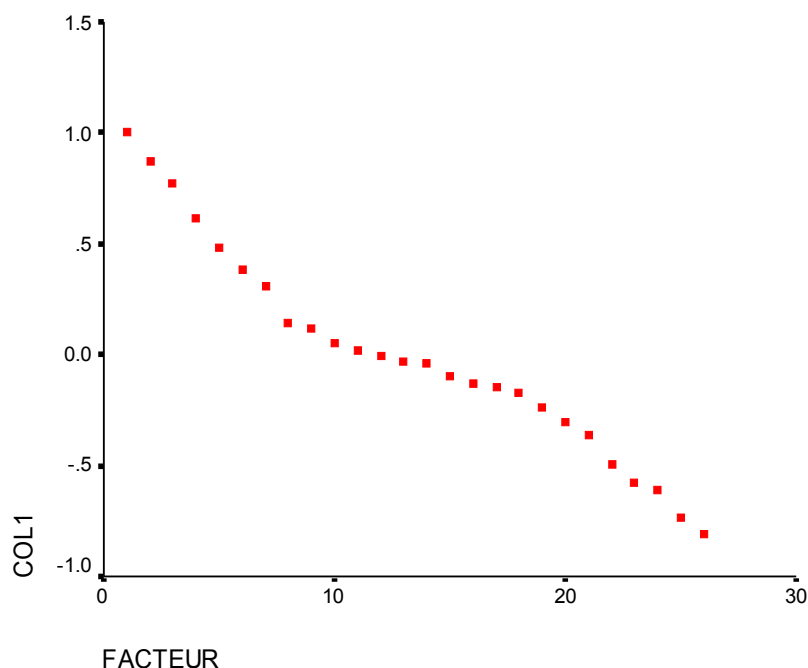


Figure 46: scree plot des valeurs propres sans diagonale

Le scree plot des valeurs propres de la matrice des pendulaires 2000 privée de sa diagonale montre un tout autre aspect. Les valeurs propres sont comprises entre 1 et -0.81 et diminuent de façon bien plus nette que sur le scree plot de la même matrice diagonale incluse (Figure 14). La première valeur, triviale vaut toujours 1, puisque nos données ne sont pas centrées, puis elles décroissent régulièrement pour passer à des valeurs négatives à partir de la douzième valeur propre. Comprises entre 1 et -1 les valeurs propres illustrent les mouvements différents selon qu'elles sont positives ou négatives. Une valeur propre positive est un signe de mouvement diffusif, que nous

pourrions imaginer par l'extension d'un nuage de fumée dans un ballon gonflable. Différemment, une valeur négative représente un mouvement oscillatoire entre deux ensembles. Si nous découpons la Suisse en deux parties, une comprenant la Suisse romande et l'autre le reste du territoire, un mouvement oscillatoire de toutes les valeurs propres reviendrait à ce que chaque jour, tout pendulaire passe d'un côté à l'autre, une fois pour s'y rendre et une autre fois pour en repartir. Il existe en fait trois cas théoriques caricaturaux de répartitions des valeurs propres.

- Le cas de la mobilité parfaite:

Le cas où la probabilité de parvenir à une destination donnée ne dépend pas de l'origine (chaîne de Markov d'ordre zéro). C'est un système de flux dans lequel il n'existe aucune friction de distance, de temps, ni d'aucun autre élément qui viendrait influencer le processus de flux. Ce cas impliquerait que toutes les valeurs propres non triviales aient la même valeur, et qu'elle soit égale à zéro.

- Le cas des flux gelés:

Cas limite où il n'y a pas de déplacement entre le lieu de vie et le lieu de travail. Il n'y a pas d'échange entre les régions. Il n'y a pas d'interaction spatiale entre les régions, qui se comportent en autarcie. Dans ce cas, toutes les valeurs propres valent 1.

- Le cas du mouvement oscillatoire parfait:

Ce dernier cas théorique serait une bipartition parfaite d'un territoire, lorsque toutes les unités d'une région A se déplacent vers une région B, et vice et versa. Dans cette situation, la valeur propre triviale vaut 1 et l'autre (non triviale) vaut -1.

Ces trois cas théoriques sont des cas limites que nous n'observons pas lorsqu'il s'agit de mouvements pendulaires, toutefois ils facilitent la lecture du scree plot (figure 46), en comparant ce dernier aux cas limites exposés ci-dessus.

Les valeurs propres se comportent de la même manière que lorsque plus classiquement, nous faisons un scree plot de la variance expliquée. Ainsi sur notre graphique, nous pouvons voir que l'explication fournie par les premiers facteurs décroît de manière assez stable, mais beaucoup plus rapidement que lorsque nous avons gardé la diagonale. La différence avec la variance expliquée, est qu'ici nos valeurs propres deviennent négatives à partir de la douzième, ce qui signifie que non seulement elles n'apportent plus d'information, mais qu'elles risquent de brouiller l'information obtenue grâce aux valeurs propres positives.

Nous pensons d'après ce scree plot qu'une carte générée sans la diagonale devrait être plus précise que celle générée à partir de la matrice avec diagonale. Nous verrons sous peu si nous avons raison. Mais avant cela, nous allons observer comment se cumulent ces valeurs propres.

7.1.2 Pourcentage cumulé des valeurs propres

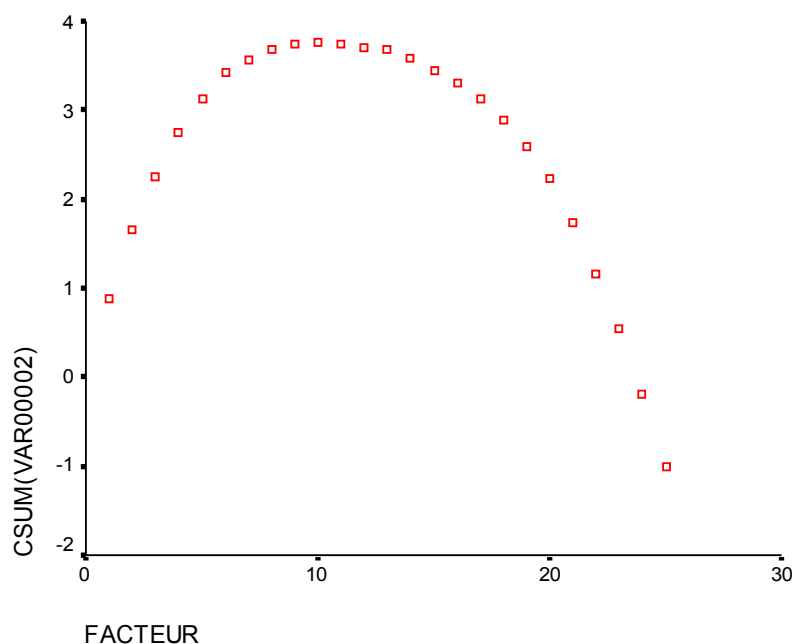


Figure 47: pourcentage cumulé des valeurs propres (sans diagonale)

Ce graphique est bien ce que nous attendions, à savoir qu'il correspond aux remarques précédentes concernant l'absence d'explication de la douzième valeur propre et des suivantes. Nous sommes bien loin de la droite presque parfaite de notre figure 16. Nous pouvons nous poser la question légitime de ce que pourrait expliquer un espace reconstruit en vingt-cinq dimensions, soit en prenant tous les facteurs non triviaux. Il est impossible de le représenter, mais serait-il moins précis qu'en espace réalisé à partir de en douze dimensions. Nous trouvons étrange que plus d'informations nuise au résultat. Nous tenterons vérifier cela dans le dernier point de ce chapitre(7.3).

7.1.3 Reconstruction de l'espace (diagonales modifiées)

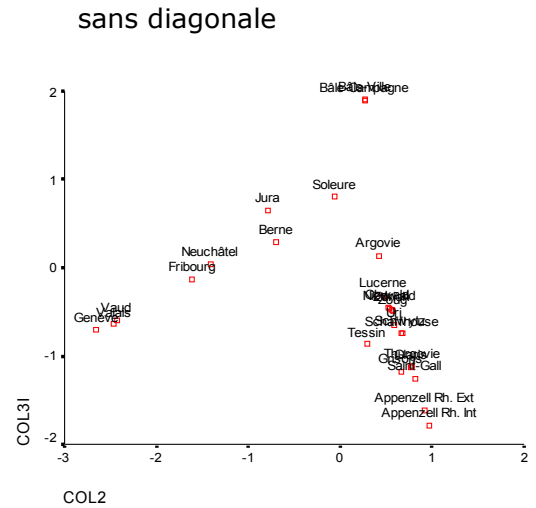
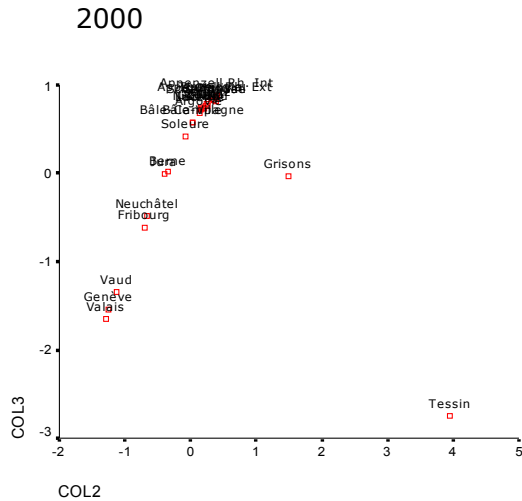
Nous allons réaliser diverses modifications sur la diagonale de la matrice de flux pendulaires 2000. En effet, nous ne doutons plus que le poids de la diagonale des matrices de données est très important face à l'ensemble des pendulaires. Nous avons voulu savoir comment se comporterait l'espace créé par les coordonnées si nous agissions directement sur cette diagonale.

Une multitude de possibilité s'offrait à nous, et nous avons choisi de développer trois variantes. La première consistera à la suppression pure et simple de la diagonale, ce qui revient à faire comme si nous ne tenions compte que des pendulaires intracantonales. La seconde modification transformera la diagonale de notre matrice de façon à ce que le poids de la diagonale soit équivalent à la somme du reste de la matrice²³. Enfin, la troisième variante transformera cette diagonale pour qu'elle ne pèse plus que la moitié du poids du reste de la matrice. Cela nous permettra de voir l'influence qu'exerce cette puissante diagonale intracantonale, et d'avoir sous les yeux, les différences qu'engendrent de tels changements sur la reconstruction. Nous regarderons simultanément les résultats pour les trois variantes, avec en référence, la reconstruction

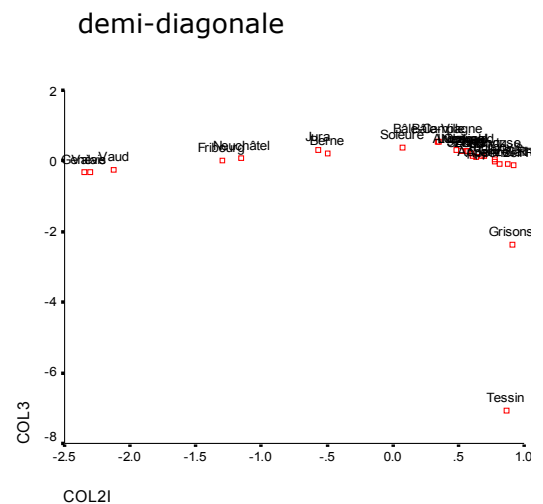
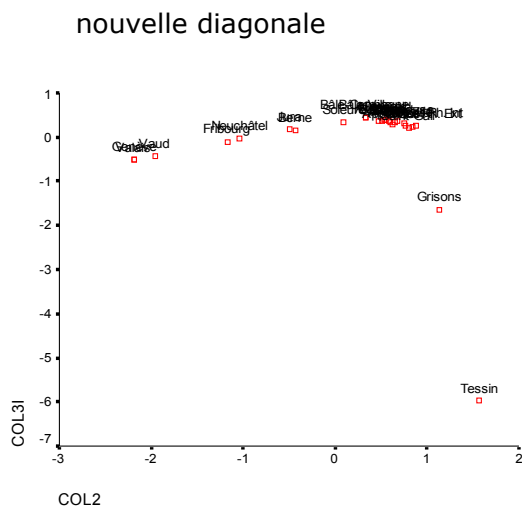
²³ Voir script spss (Annexe III).

de l'espace factoriel issu de la matrice des coordonnées 2000 (avec diagonale). Nous ne regarderons les changements que sur les quatre premiers facteurs non triviaux: 2, 3, 4 et 5.

Reconstruction à partir des facteurs 2 et 3:



Figures 48 et 49

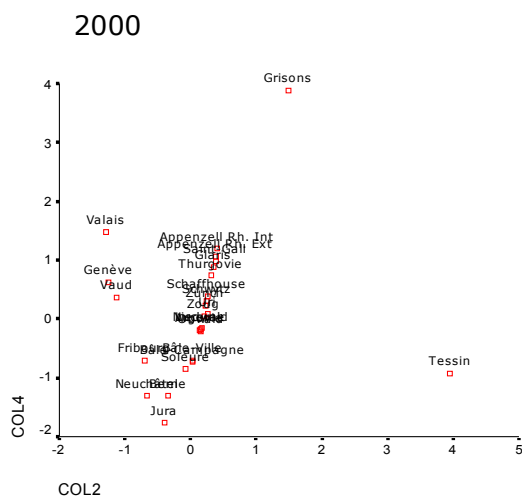


Figures 50 et 51

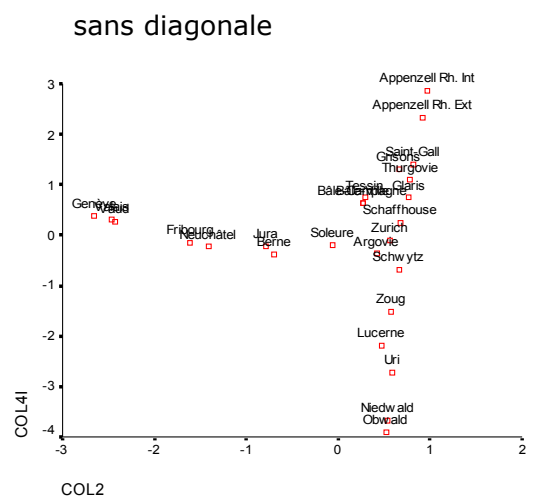
Le résultat de la reconstruction sans diagonale donne un assez bon aperçu de la position des cantons suisses, les cantons romands sont tous sur le même axe, dans un ordre tout à fait remarquable. Les deux demi-cantons de Bâle sont comme un chapeau posé sur tout le reste de la structure, très proches l'un de l'autre, comme un symbole de la force de l'interaction qui les unit. Les cantons alémaniques sont disposés suivant un axe différent de celui des cantons romands. Ces deux axes presque perpendiculaires, montrent la faible interaction entre ces deux grandes parties de la Suisse. La langue pose visiblement une barrière forte, capable d'empêcher les nombreux échanges supplémentaires qui auraient lieu, si le pays n'avait pas quatre langues nationales. Les cantons du Tessin et des Grisons sont également positionnés sur l'axe des cantons germanophones, ou peut-être des cantons non francophones. Toutefois, leur isolement était nettement mieux affiché lorsque la diagonale était prise en compte. Dans les deux graphiques suivants, nous trouvons justement ces deux cantons à nouveau isolés par

rapport au reste de la Suisse. Apparemment, lorsque nous tenons compte des diagonales, modifiées ou non, ces deux cantons occupent une position plus cohérente sur l'espace reconstruit. Nous pensons que cela venait du fait que ces cantons n'ont que très peu d'échanges avec les autres cantons et que leur position dépend de leur diagonale. La supprimer les rendant ainsi comme des « électrons libres » dans une Suisse des pendulaires. Néanmoins, d'autres cantons sont dans le même cas, par exemple Appenzell Rh. Int. et ils n'en sont pas pour autant isolés. Les reconstructions qui contiennent une diagonales n'apportent pas une meilleure vision sur la pendularité, tout au moins pas sur les deux premiers facteurs. Nous serions surpris qu'il en soit autrement pour les facteurs 4 et 5, mais nous allons tout de même vérifier.

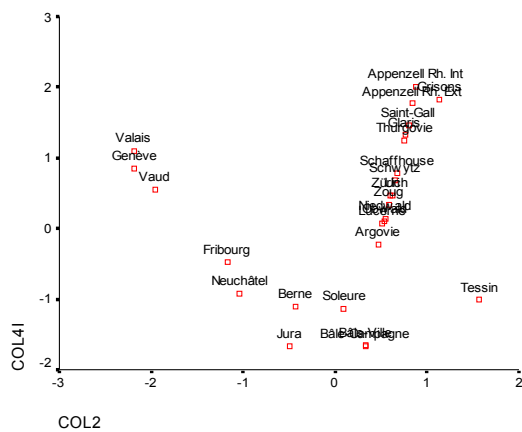
Reconstruction à partir des facteurs 2 et 4:



Figures 52 et 53

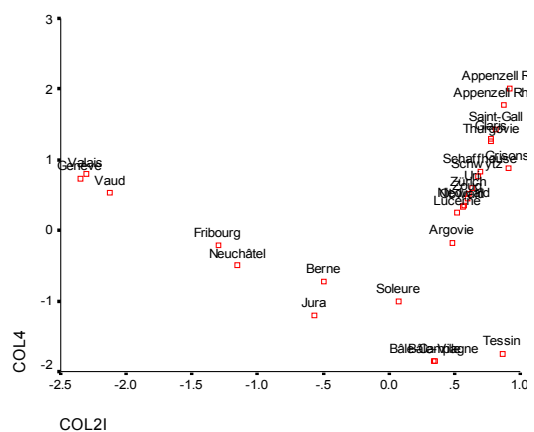


nouvelle diagonale



Figures 54 et 55

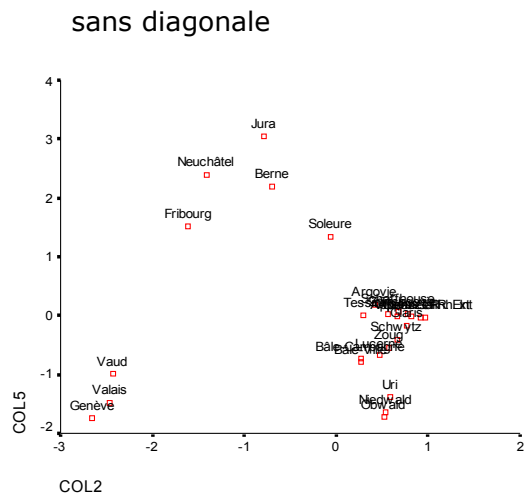
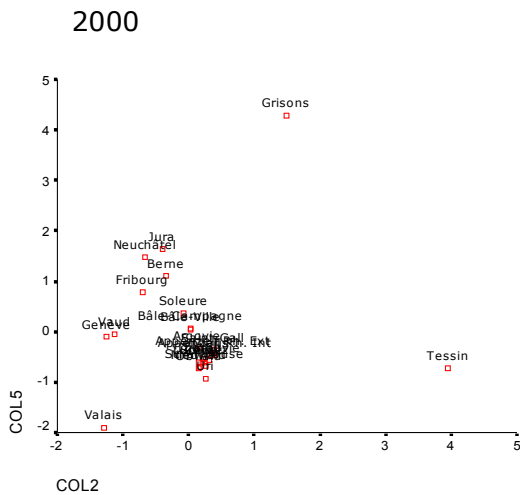
demi-diagonale



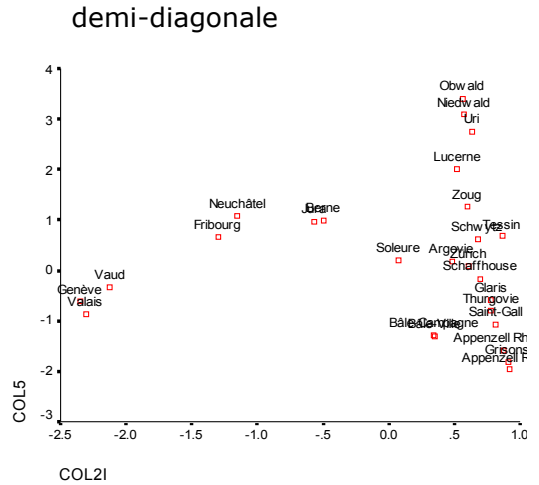
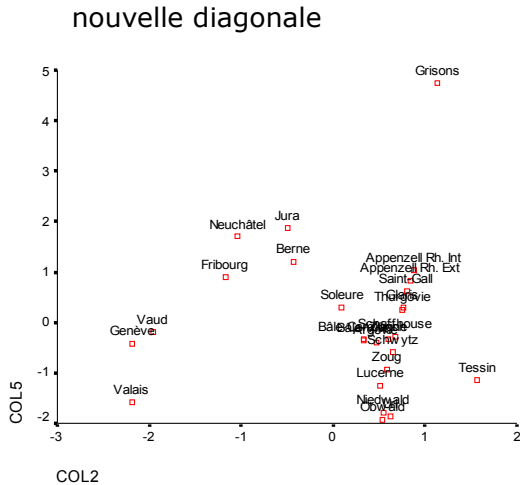
Les reconstructions faites à partir des facteurs 2 et 4 ne donnent pas de résultats transcendants. Nous retrouvons à peu près les mêmes informations qu'avec les facteurs 2 et 3. Nous avons à nouveau une configuration en deux axes clairement définis, un pour

les cantons romands et un pour les germanophones. Nous trouvons les demi-cantons à faible volume de pendulaires aux extrémités de l'axe du facteur 4, avec Zurich comme canton central. L'espace recréé n'est en tout cas pas «meilleur» que celui construit avec les deux premiers facteurs. Quant aux espaces générés avec une diagonale modifiée, ils ne sont ni meilleurs, ni moins bons.

Reconstruction à partir des facteurs 2 et 5:



Figures 56 et 57



Figures 58 et 59

La combinaison des facteurs 2 et 5 rend un résultat satisfaisant à bien des égards. Bien que la structure des espaces reconstruits reste la même que lorsque la diagonale de base est conservée, les différents axes sont mieux marqués, notamment sur la figure 58. Nous trouvons que les cantons romands, qui sont souvent bien positionnés, le sont particulièrement sur la figure 58. Les cantons germanophones également, toutefois, les cantons de Bâle-ville et Bâle-campagne se placent de manière trop centrale. Le Tessin occupe une place acceptable, et les Grisons, dans l'axe des cantons d'Appenzell aurait été mieux placé si l'axe avait été inversé. Dans l'ensemble les modifications effectuées sur la diagonale sont assez bénéfiques sur ces facteurs.

7.2 Ajout des pendulaires frontaliers

Nous avons désormais plusieurs fois évoqué que la Suisse était soumise à des flux pendulaires provenant de l'étranger, notamment et surtout des Etats voisins que sont la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Autriche et le Liechtenstein. Ayant pour but principal de nous rapprocher le plus possible d'un espace qui «ressemble» à une géographie de la Suisse, nous tenions à voir si nos reconstructions pouvaient être améliorées en ajoutant ces données. Encore une fois, des nombreux graphes que nous avons générés, bien peu apportent des éléments nouveaux à nos espaces basés sur le flux. Nous mettons si dessous les résultats obtenus, que nous pouvons comparer avec ceux des figures 18 et 20.

Reconstruction à partir des facteurs 2-3; 2-4, année 2000, frontaliers compris

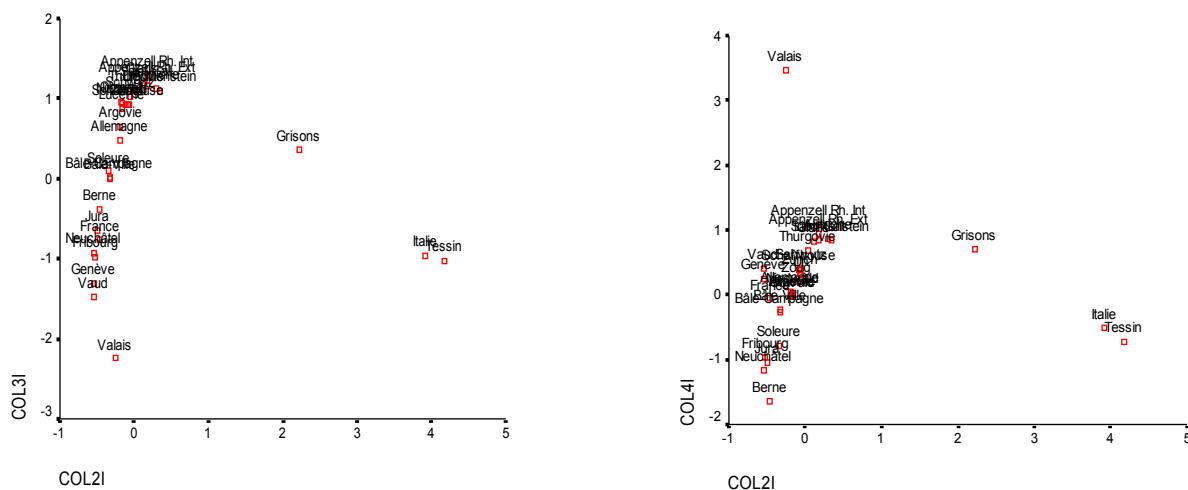


Figure 60 et 61

En ajoutant les pendulaires frontaliers à la matrice, nous considérons la Suisse comme un territoire de 31 cantons. Ces nouveaux «cantons» vont se positionner dans notre espace reconstruit en fonction de leurs interactions pendulaires avec les autres cantons. A vrai dire, nous voulions vérifier si la présence des pays voisins allait créer d'autres distances spatiales entre les cantons, ou si l'apport de ces données, ne modifiait pas réellement l'espace créé par les pendulaires intercantonaux. Nous pouvons voir sur les deux figures ci-dessus, que les pays voisins viennent se positionner là où nous les attendions, près du Tessin pour l'Italie, à côté de Genève pour la France, entre Bâle et Zurich pour l'Allemagne. Quand à l'Autriche et le Liechtenstein, il est difficile de distinguer les noms, mais ils sont les deux proches des cantons orientaux de la Suisse. Évidemment, ces pays occuperaient une autre position si nous possédions toutes les données nécessaires. Finalement, il nous faudrait les données de tous les pendulaires européens pour que la position de chacun soit au mieux respectée. La problématique de l'intercantonalité des pendulaires helvétiques a cet avantage de se «limiter» aux frontières du territoire national.

7.3 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La sortie graphique du scree plot (figure 46) et le pourcentage cumulé des valeurs propres (figure 47) nous a poussé à faire une classification ascendante hiérarchique pour voir si le fait de prendre tous les facteurs était moins «efficace» que de n'en prendre qu'une partie, 10 dans notre cas, puisque la première valeur propre est triviale et que la 12ième est la première valeur négative. Une classification ascendante hiérarchique peut être représentée sous la forme d'un arbre de classification. Dans ce graphe, chaque classe de la partition finale est considérée comme un sommet, et est reliée au noeud qui la précède. Chaque noeud est une partition plus hétérogène, et ainsi en remontant les noeuds, nous arrivons à une partition unique, composée de toutes les classes. C'est dernière partition n'apporte aucune information puisqu'elle ne fait aucune classification (Béguin & Pumain 2007).

7.3.1 CAH sur les coordonnées 2000

Pour cette première CAH, nous utilisons les coordonnées obtenues à partir de la matrice de flux 2000. Nous verrons ainsi de quelle façon se structure l'arbre des cantons. Ce premier dendrogramme permettra une comparaison avec les suivants, et nous tenterons de déterminer quel graphe représente le mieux la Suisse des pendulaires.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

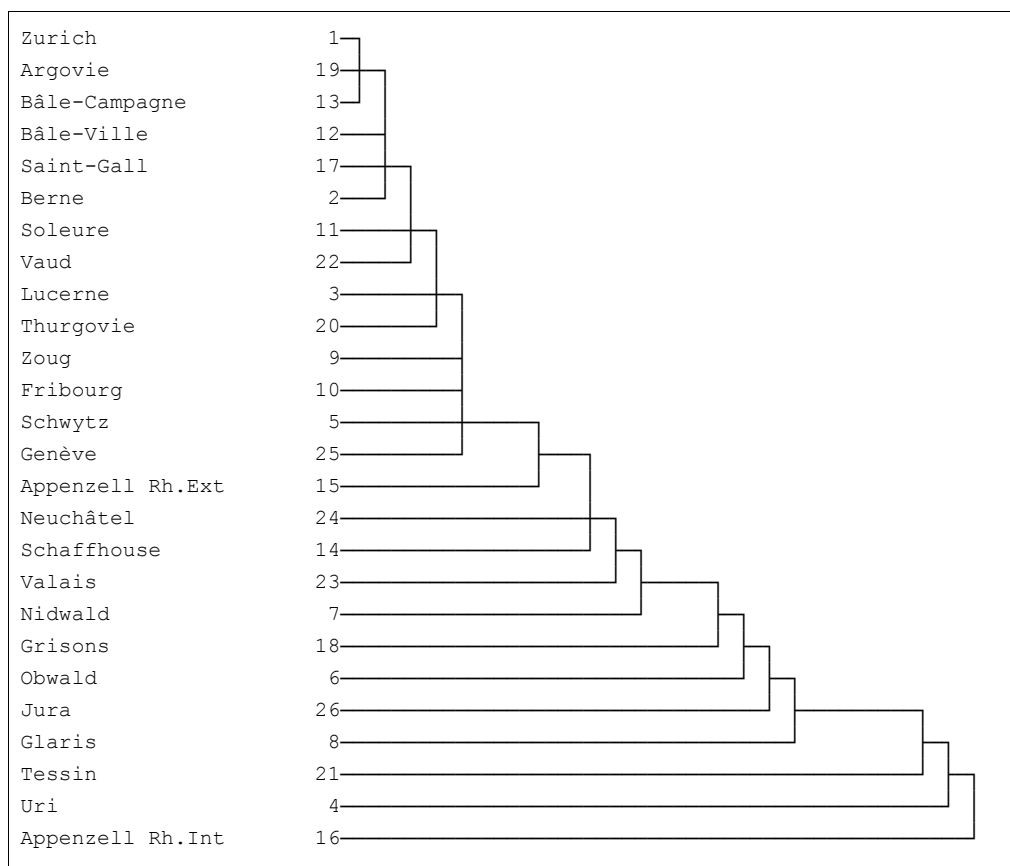


Figure 62

Ce premier arbre de classification met en évidence certains liens qui regroupent des cantons entre eux. C'est notamment le cas pour les cantons de Zurich et d'Argovie, mais nous voyons que Bâle-campagne est également dans ce groupe. Les cantons romands ne sont pas bien regroupés, ce qui est en contradiction avec les sorties graphiques que nous avons obtenus tout au long de ce travail. Une classification tenant compte de l'ensemble des facteurs devient difficile à comprendre. Bien qu'elle montre des aspects positifs, cela donne une vision globale de la pendularité que nous trouvons assez peu convaincante. Nous allons immédiatement vérifier si la suppression de la diagonale offre une meilleure classification.

7.3.2 CAH sur les coordonnées 2000 (sans diagonale)

Affichons directement le dendrogramme obtenu à partir des facteurs issus de la matrice 2000 sans diagonale.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

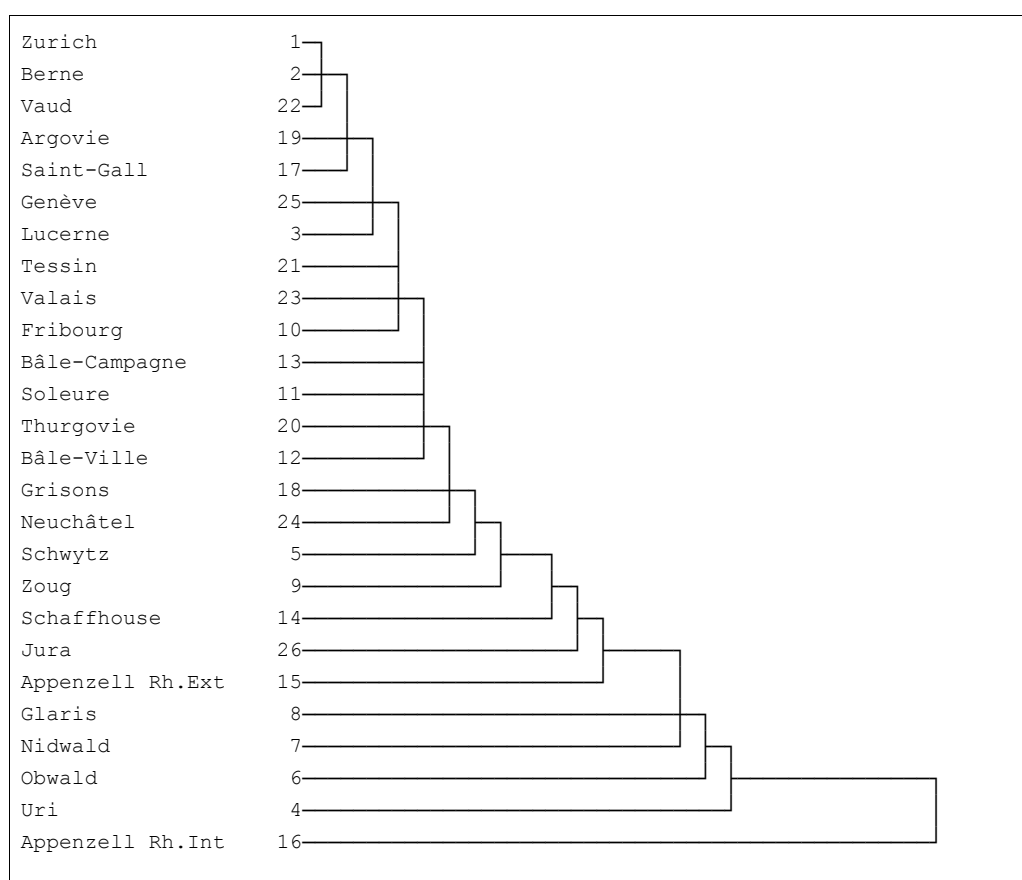


Figure 63

Ce second dendrogramme n'est guère mieux que le précédent, nous le trouvons même moins représentatif des liens de pendularité établis entre les cantons. Mais il s'agit ici d'une classification tenant compte de tous les facteurs. Comme nous l'avons remarqué plus haut (figures 46 et 47), une partie seulement des valeurs propres étaient positives, et nous avons conclu que seule la prise en compte des valeurs positives était utile pour une meilleure reconstruction de l'espace. Ainsi, le dendrogramme ci-dessus correspond à une classification qui tient compte des facteurs dont la valeur propre est négative.. Dans ces conditions, le résultat plus qu'approximatif de cet arbre ne nous surprend pas. Il va être intéressant de voir comment s'organise l'arbre suivant, dans lequel nous ne

tiendrons compte que des facteurs aux valeurs propres positives.

7.3.3 CAH sur les coordonnées 2000 (nombre réduit de facteur)

Nous mettons beaucoup d'espoir sur ce troisième dendrogramme, qui selon toute vraisemblance, devrait être celui qui classe le mieux les cantons du point de vue de la pendularité intercantonale. Il s'agit des données 2000 sans la diagonale.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

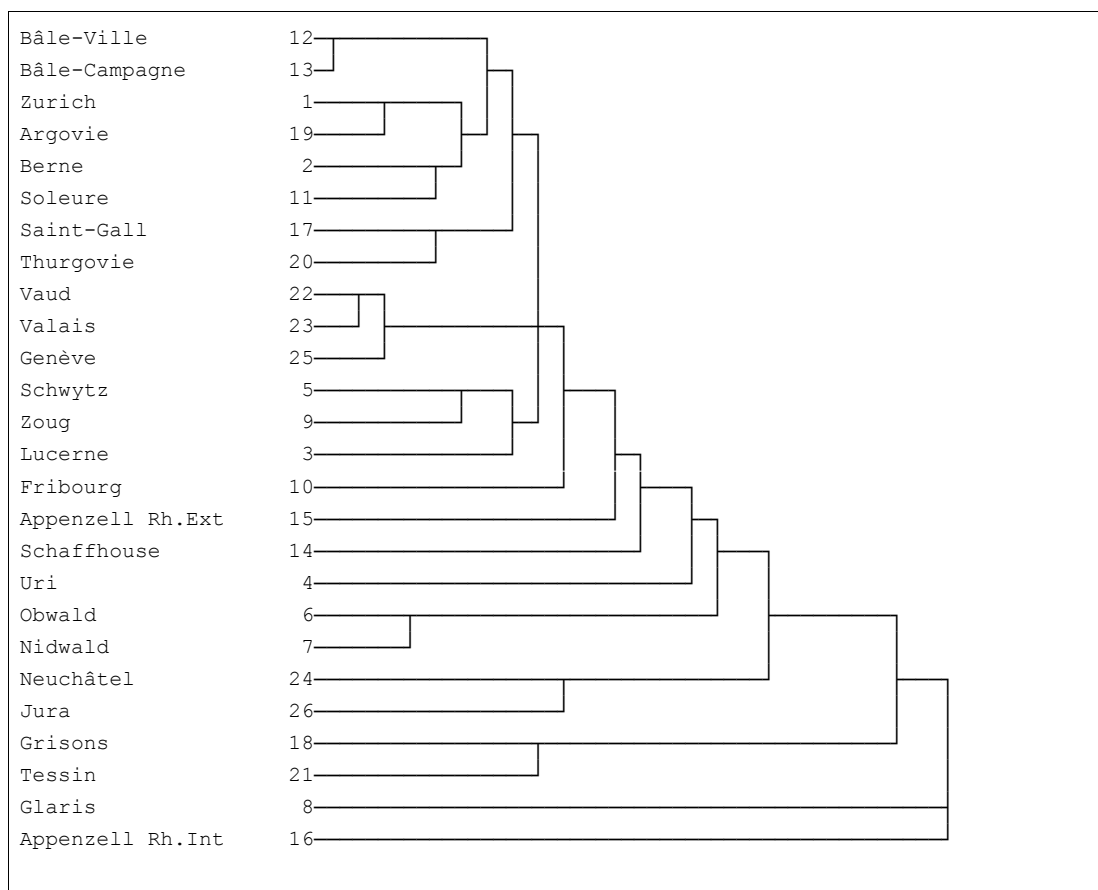


Figure 64

Enfin, il s'agit là du meilleur arbre des trois que nous avons regardé. Nous pensions que ce dernier graphe allait être plus représentatif, puisque nous avons gardé tous les facteurs positifs et uniquement ceux-là. Certains couples de cantons sont bien marqués, comme Bâle-ville – Bâle-campagne, Zurich – Argovie, Genève qui rejoint rapidement les cantons de Vaud et du Valais, et d'autres que nous pouvons voir ci-dessus. Le fait de conserver que les facteurs positifs pour l'analyse est quelque chose de bénéfique pour la classification des cantons, la figure 64 représente mieux la Suisse que la figure 63. Toutefois, est-il pertinent de garder tous les facteurs positifs? Les essais de classification effectués en ne gardant que deux facteurs, puis trois, et ainsi de suite ont révélé une meilleure lisibilité du territoire. Nous mettons ci-dessous, l'arbre obtenu qui représente le mieux toutes les observations que nous avons vu lors des essais de reconstruction spatiale.

Le dendrogramme suivant est le résultat d'une CAH sur les données 2000, ne contenant pas de diagonale, en ne gardant que les 3 premiers facteurs non triviaux (2, 3 et 4).

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

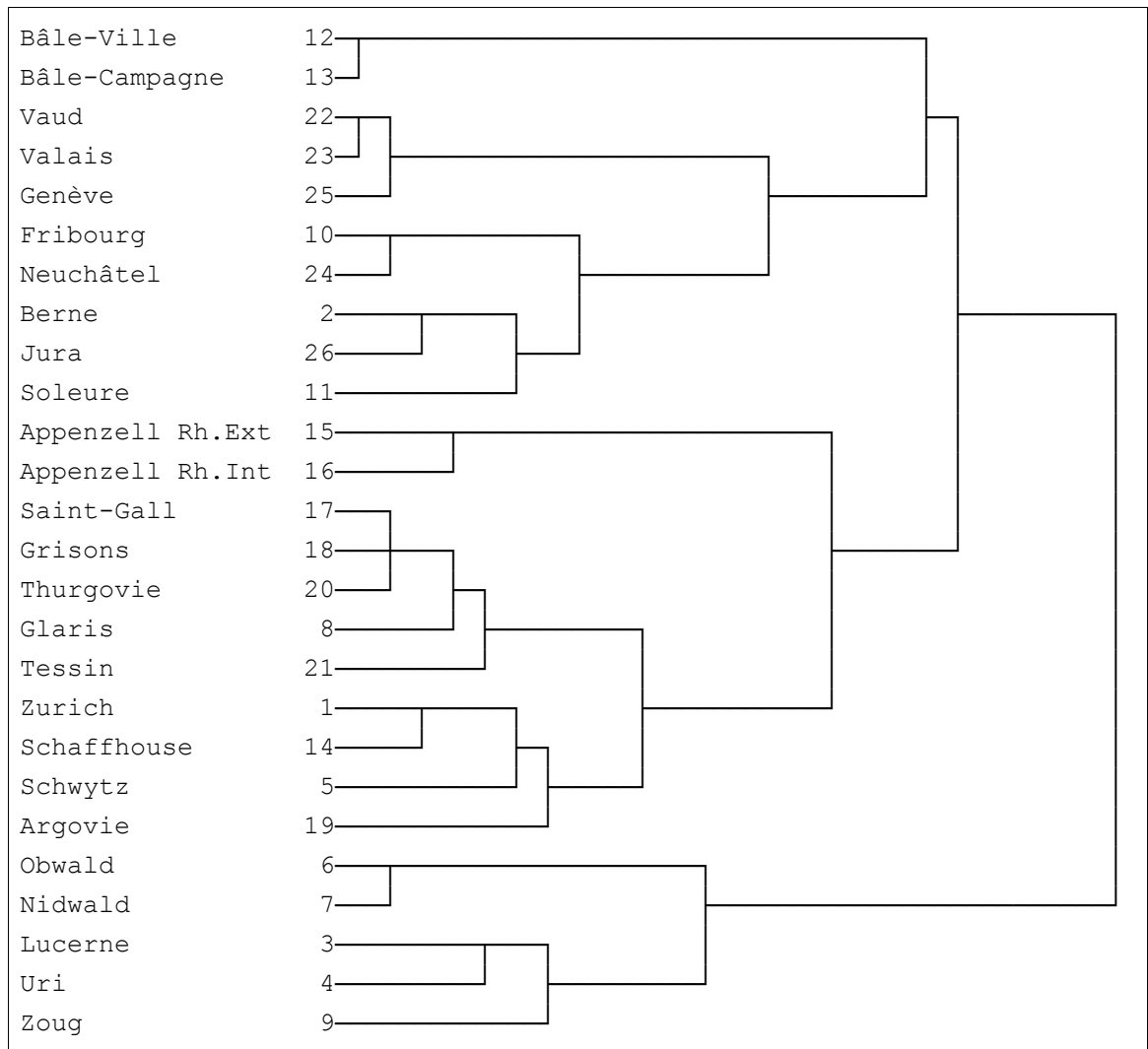


Figure 65

Cet arbre est le meilleur résultat que nous ayons obtenu en multipliant les tentatives de classification, et nous le trouvons plutôt convaincant. Il exprime très bien les liens de pendularité qui existent entre les cantons. Nous pouvons voir que les demi-cantons sont très bien représentés, et ne rejoignent le prochain nœud de la structure que tardivement. Cela concorde avec les observations qui montrent les relations fortes qu'entretiennent ces unités spatiales. Les couples et/ou triplets de cantons comme Fribourg et Neuchâtel, ou Thurgovie Saint-Gall et les Grisons, collent également parfaitement à ce que nous avons obtenu par reconstruction. A l'inverse des autres arbres, nous ne trouvons ici aucune incohérence concernant la pendularité intercantonale. Cet excellent dendrogramme classe de façon exemplaire ce que nous cherchons à produire par reconstruction dans un espace à deux dimensions. Puisque trois facteurs permettent d'obtenir un tel résultat, notre reconstruction spatiale à deux facteurs est proche de ce que nous pouvons faire de mieux. Une représentation en trois dimensions devrait être encore plus représentative, mais bien que ce soit réalisable, nous ne produirons pas ici de graphique en trois dimensions.

8. Conclusion

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour réaliser ce travail. En premier lieu, nous avons dû nous poser la question de la pertinence d'une FGR appliquée à des flux de pendulaires. Des éléments de réponses sont apparus lorsque nous avons développé les concepts géographiques «d'espace géographique», «de distance», «d'interaction spatiale» et de «flux». Tous ces concepts étroitement liés, nous ont convaincu d'utiliser les flux comme concept premier.

La pendularité en Suisse a été observée au travers d'indices calculés à partir de nos données. Les informations mises en cartes à cette étape de notre travail, ont amélioré notre compréhension du phénomène pendulaire intercantonal. Nous avons constaté qu'il existait plusieurs «niveaux de pendularité», et que certaines régions de Suisse montraient une pendularité globalement plus forte que d'autres. Par les cartes, nous voulions observer les tendances pendulaires régionales et les imbrications cantonales concernant les flux.

Nous avons travaillé au niveau cantonal principalement pour deux raisons. La première est que nous ne disposions d'aucune matrice de flux déjà construite, et que cela prend du temps de recompiler des données. La création d'une matrice carrée des communes suisses n'était de ce fait, pas envisageable. La seconde raison est que le canton est une unité géographique fondamentale du territoire helvétique d'une grande stabilité. Les communes et les districts ayant particulièrement évolué ces dernières années, cela ne facilite pas la comparaison de données échelonnées sur le temps. Nous pensions également qu'un regroupement des données sous la coupole cantonale, permettrait de ne pas noyer le résultat sous les informations d'une multitude d'unités spatiales plus restreintes. Ainsi seuls les cantons semblaient pouvoir répondre à toutes nos exigences.

Nous tenions à appliquer la FGR à nos deux jeux de données (1990 et 2000) simultanément, afin de voir si un écart de dix années montrait des différences majeures. Force est de constater qu'une si courte période ne laisse transparaître aucune modification importante du point de vue de la pendularité intercantonale. L'expérience aurait vraisemblablement été plus enrichissante, si nous avions disposé des données de 1950 et 2000. A défaut d'informations géographiques inédites, nous aurons appris que la pendularité est un phénomène qui évolue lentement dans notre pays. La façon dont sont récoltées et stockées les données d'aujourd'hui, permettront peut-être à un intéressé de retenter l'aventure demain.

«L'espace de la pendularité intercantonale», tel que nous l'avons construit, est un espace géographique relatif. Il est soumis à toutes les contraintes auxquelles les pendulaires sont confrontés. La friction de la distance, les différentes langues nationales, des relations cantonales privilégiées, sont autant d'éléments qui façonnent l'espace de nos pendulaires.

L'analyse de tous les «facteurs», rendue possible par le nombre limité de cantons, nous a permis d'aller au bout de la méthode. En prenant le temps de regarder chacun des espaces reconstruits, nous avons vu que les premiers facteurs influençaient la position de tous les cantons. Graphiquement de moins en moins pertinents, les derniers facteurs n'étaient plus que des relations entre couple de cantons.

Lorsque nous avons pratiqué les modifications sur les matrices, nous avons constaté que la suppression de la diagonale avait un effet bénéfique pour la structure visuelle de l'espace. Le poids de la diagonale était vraisemblablement trop lourd pour la structure cantonale de notre matrice. Nous pensons que la diagonale d'une matrice de flux intercommunaux par exemple, n'aurait pas du tout le même effet sur notre espace. Nous

passer de la diagonale a permis de construire un espace que nous trouvons plus proche de la réalité géographique. Toutefois, la perte de l'information qui accompagne cette suppression est difficile à accepter. La variation du poids de la diagonale, n'a quant à lui pas amélioré notre résultat. En théorie, il était intéressant de faire varier le poids de la diagonale de plusieurs manières, en pratique les changements ont été mitigés, et les améliorations obtenues sur certains aspects, apportaient des points négatifs sur d'autres.

L'apport des données des pendulaires frontaliers n'apporte pas d'amélioration notable sur notre espace reconstruit. S'il aide à mieux comprendre la façon dont s'articule la pendularité au sein des cantons concernés, il n'entre pas dans une problématique de pendularité intercantonale. La position occupée dans notre espace factoriel, par les pays frontaliers ne reflète pas leur position réelle, mais bien la relation privilégiée qu'ils exercent avec certains cantons. A moins d'avoir toutes les données pendulaires de nos voisins, il nous paraît difficile de tenir compte de ces flux.

A l'instar d'un MDS, la FGR ne se cantonne pas aux données pendulaires. Toutefois, la construction d'un espace géographique n'a de sens que lorsque les données ont une composante spatiale. Générer des espaces est tout à fait possible avec n'importe quelle matrice de flux, tant qu'elle respecte les conditions que nous avons traitée dans ce travail. Cela se fait déjà en psychologie et dans d'autres sciences humaines. Mais le but d'une telle approche en géographie tire justement sa substance de son attachement au territoire.

La création d'arbres de classification a confirmé les résultats obtenus lors de la suppression de la diagonale. Un nombre de facteurs restreint permet de grouper les cantons de façon satisfaisante, alors que l'information tend à être moins bien traitée lorsque que nous ajoutons des facteurs à l'analyse. L'étude des arbres de classification mérite d'être approfondie, en multipliant les tentatives et en cherchant quelle est la meilleure façon de créer des regroupements.

Nous voyons plusieurs prolongements possibles à ce mémoire. D'une part, nous sommes convaincu qu'un travail comme celui-là, appliqué à des flux pendulaires intercommunaux serait très intéressant. L'ensemble des échanges entre les communes aurait cette fois plus de poids par rapport à la diagonale. Cela permettrait de travailler avec une diagonale proche de zéro dans la plupart des unités spatiales, tout en restant forte dans les communes urbaines et/ou largement industrialisées. Débarrassé de cette pesante diagonale, sans pour autant perdre d'information, l'espace reconstruit offrirait sans doute un visage encore plus convaincant. Le problème majeur d'un tel travail, serait probablement la construction de la matrice de données.

Nous considérons que la construction d'un espace à partir de flux est un projet intéressant, et qu'il peut s'adapter à des recherches touchant de nombreux domaines. Le résultat global nous satisfait en ce sens que nous parvenons à dessiner grossièrement une Suisse des pendulaires. Obtenir un tel résultat en partant uniquement d'une matrice de flux, nous force à croire qu'ils méritent parfois d'être traités en tant que concept principal d'une analyse spatiale. Gageons que cette vision des flux pourra apporter de nouvelles perspectives à la géographie quantitative.

Annexes

Annexe I : Indices calculés pour la création des cartes.

Canton	RES90	RES00	FRONT90	FRONT00	RII90	RII00	PEPOP90	PEPOP00	Aug90_00
1 Zurich	3.94	3.31	0.4	0.39	12.08	15.33	8.17	10.33	-0.63
2 Beme	1.31	1.43	0.26	0.14	4.45	6.74	2.77	4.33	0.12
3 Lucerne	0.74	0.88	0	0	6.58	10.34	4.05	6.3	0.14
4 Uri	0.44	0.32	0	0	3.09	4.3	1.8	2.4	-0.12
5 Schwytz	0.34	0.39	0.01	0.01	8.98	13.56	4.79	6.84	0.05
6 Obwald	0.54	0.51	0	0	7.67	11.94	4.37	6.73	-0.03
7 Nidwald	0.47	0.47	0	0	14.09	18.99	7.23	9.31	0
8 Glaris	0.76	0.72	0.03	0.03	6.92	10.16	4.19	5.88	-0.04
9 Zoug	1.79	1.77	0	0	25.42	38.21	15.54	22.35	-0.02
10 Fribourg	0.41	0.4	0	0	5.29	6.98	3.15	4.19	-0.01
11 Soleure	0.67	0.63	0.82	0.83	15.07	18.77	8.23	9.65	-0.04
12 Bâle-Ville	3.57	3.14	14.59	15.83	60.95	67.51	33.24	34.02	-0.43
13 Bâle-Campagne	0.42	0.51	9.35	9.73	22.98	26.12	10.66	11.31	0.09
14 Schaffhouse	0.66	0.63	10.68	7.48	11.23	13.57	6.17	7.23	-0.03
15 Appenzell Rh. Ext	0.5	0.57	1.12	0.63	17.72	26.37	8.34	12.05	0.07
16 Appenzell Rh. Int	0.41	0.43	0.23	0.73	9.42	12.3	4.95	6.28	0.02
17 Saint-Gall	1.05	1.02	4.5	2.78	10.25	13.6	6.15	8.06	-0.03
18 Grisons	0.57	0.68	2.36	2.7	1.62	2.52	1.03	1.63	0.11
19 Argovie	0.39	0.44	3.52	2.42	8.56	11.27	4.81	6.19	0.05
20 Thurgovie	0.42	0.44	5	2.1	7.98	10.66	4.4	5.89	0.02
21 Tessin	2.59	1.43	19.2	13.77	0.98	1.13	0.58	0.69	-1.16
22 Vaud	0.54	0.68	3.1	2.34	3.89	6.15	2.51	3.88	0.14
23 Valais	0.5	0.33	1.28	0.87	1.54	1.69	0.96	1.04	-0.17
24 Neuchâtel	1.16	1.05	4.55	3.71	4.64	6.98	2.97	4.32	-0.11
25 Genève	5.41	4.26	10.7	9.28	8.24	9.57	5.56	6.3	-1.15
26 Jura	0.3	0.29	9.85	8.36	2.58	3.35	1.5	1.93	-0.01
									0
moyenne	1.15	1.03	3.91	3.24	10.85	14.16	6.08	7.66	-0.12

RES90 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / sortants 1990.

RES00 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / sortants 2000.

FRONT90 : ratio pendulaires frontaliers entrants / total pendulaires entrants 1990.

FRONT00 : ratio pendulaires frontaliers entrants / total pendulaires entrants 2000.

RII90 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / pendulaires intracantonaux 1990.

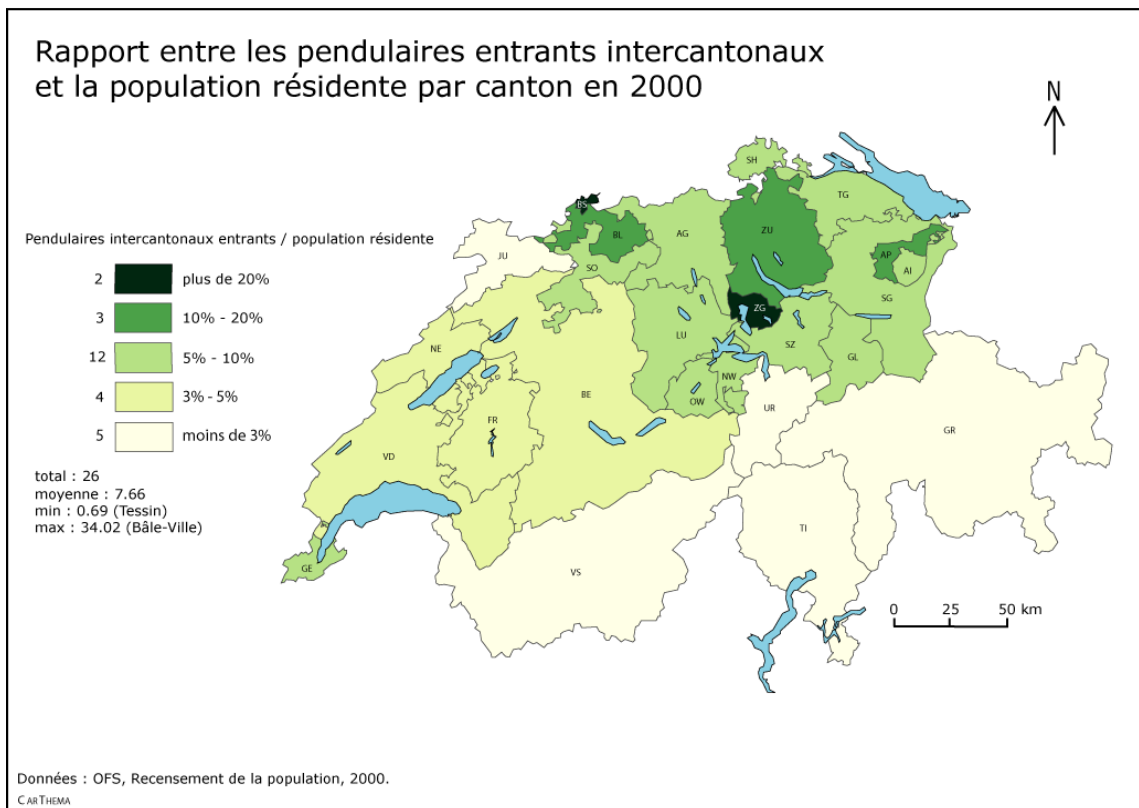
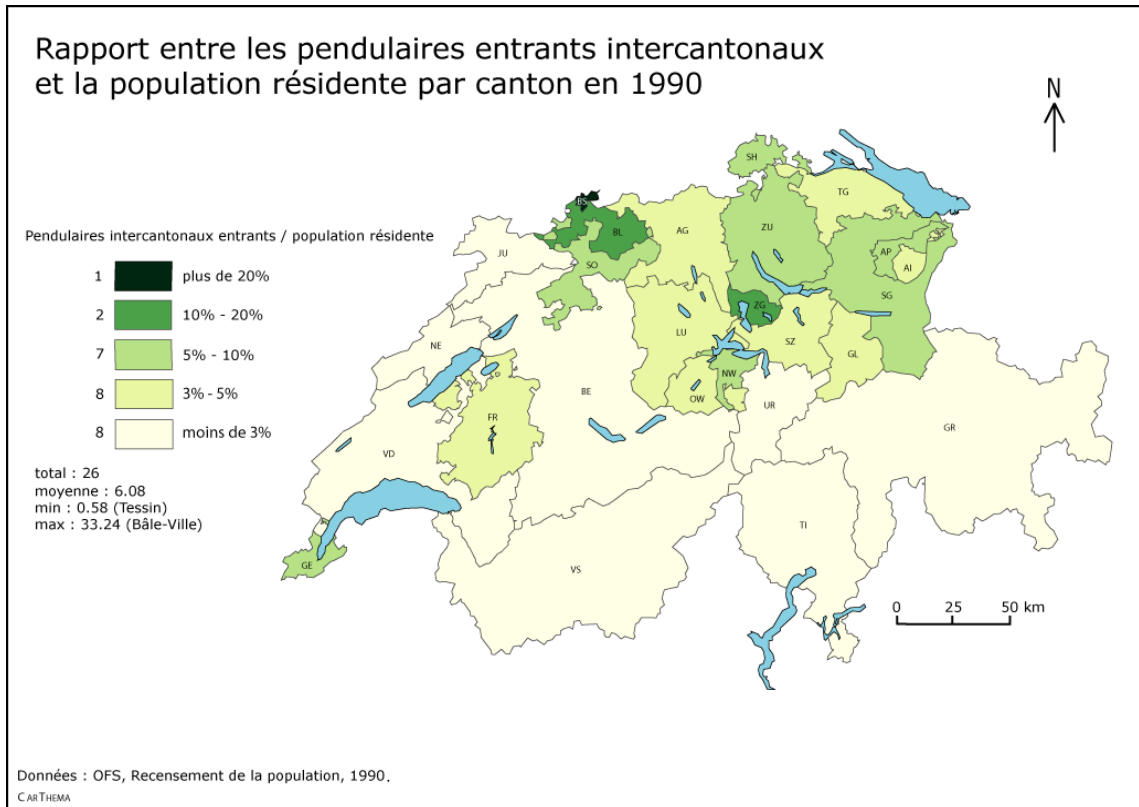
RII00 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / pendulaires intracantonaux 2000.

(PEPOP90 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / population résidente 1990).

(PEPOP00 : ratio pendulaires intercantonaux entrants / population résidente 2000).

AUG90_00 : évolution de la pendularité intercantonale (RES00-RES90).

Annexe II : cartes indice «PEPOP», même interprétation que les cartes «RII».



Annexe III : Script SPSS de base pour déterminer les facteurs de la matrice

*Création de la matrice d'échange : Entrée : matrice des pendulaires. Sorties : matrice des coordonnées (X2), matrice des vecteurs propres (U2), vecteur des valeurs propres (L2).

```

SET MXLOOP=10000.
GET FILE='C:\...\PenIntCant2000.sav'.
EXECUTE.
MATRIX.
GET DATA /VARIABLES=zh TO ju/NAMES=VARNAMES/MISSING=ACCEPT/SYSMIS=99.
COMPUTE nlines=nrow(DATA).
COMPUTE ncolones=ncol(DATA).
DO IF (nlines = ncolones).
PRINT /TITLE "Le nombre d'origines et de destinations de la matrice de flux coïncident.".
PRINT nlines /TITLE"nombre d'origines".
PRINT ncolones /TITLE"nombre de destinations".
ELSE.
PRINT /TITLE "Le nombre d'origines et de destinations de la matrice de flux ne coïncident pas.".
PRINT nlines /TITLE"nombre d'origines".
PRINT ncolones /TITLE"nombre de destinations".
END IF.

COMPUTE NTRANS2= TRANSPOS(data).
*PRINT NTRANS2 /TITLE"Matrice transposés de
N"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.2.
SAVE NTRANS2/outfile='C:\...\NTRANS2.sav'

COMPUTE NSYM2= 0.5*(NTRANS2+data).
*PRINT NSYM2 /TITLE"Matrice
NSYM2"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.2.
SAVE NSYM2/outfile='C:\...\NSYM2.sav'.

COMPUTE Denom2 = RSUM(CSUM(data)).
*PRINT Denom2 /TITLE"Denom2"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.2.

COMPUTE Echan2=NSYM2/Denom2.
*PRINT Echan2/TITLE"Matrice
d'échange"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.2.
SAVE Echan2/outfile='C:\...\Echan2.sav'.
COMPUTE Pii2=RSUM(Echan2).
SAVE Pii2/outfile='C:\...\Pii2.sav'.
*PRINT Pii2/TITLE"Vecteur colonne PI somme des rangs de la matrice Echan2 contenant les poids
relatifs"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.8.
*Création de la matrice Fij que l'on décomposera spectralement.
COMPUTE F2= INV(SQRT(MDIAG(Pii2)))*Echan2*INV(SQRT(MDIAG(Pii2))).
*PRINT F2/TITLE"Fij matrice des flux normalisés"
/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.2.
SAVE F2/outfile='C:\...\F2.sav'.

* Calcul de la matrice des vecteurs propres (U), du vecteur des valeurs propres (L), et de la matrice
des coordonnées (X) issu de la décomposition spectrale de Fij (F2).
call eigen(F2,U2,L2).
*PRINT U2.
*PRINT L2.
*les X2 représentent les coordonnées simplifiées, valeur triviale de la première colonne de -1 et 1.
COMPUTE X2 = INV(SQRT(MDIAG(Pii2)))*U2.
PRINT X2 /TITLE"Les X2 sont des coordonnées simplifiées, valeur triviale de la 1ère colonne de 1/-1".
SAVE U2/outfile='C:\...\U2.sav'.

```

```
SAVE L2/outfile='C:\...\L2.sav'.  
SAVE X2/outfile='C:\...\X2.sav'.  
END MATRIX.
```

Syntaxe pour les graphiques (base)

*Entrées : différents facteurs de la matrice des coordonnées (X2 ci dessus).

*Sorties : graphes d'espaces reconstruits selon les facteurs utilisés.

```
GRAPH/SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col3 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH/SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col4 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH/SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col5 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col6 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col7 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col3 WITH col4 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col3 WITH col5 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col3 WITH col6 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col3 WITH col7 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col2 WITH col7 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col4 WITH col5 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col5 WITH col6 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col6 WITH col7 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col7 WITH col8 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col8 WITH col9 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col9 WITH col10 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col10 WITH col11 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col11 WITH col12 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col12 WITH col13 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col13 WITH col14 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col14 WITH col15 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col15 WITH col16 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col16 WITH col17 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col17 WITH col18 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col18 WITH col19 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col19 WITH col20 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col20 WITH col21 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col21 WITH col22 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col22 WITH col23 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col23 WITH col24 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col24 WITH col25 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col25 WITH col26 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col26 WITH col27 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col27 WITH col28 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col28 WITH col29 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col29 WITH col30 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .  
GRAPH /SCATTERPLOT(BIVAR)=col30 WITH col31 BY cantons (NAME) /MISSING=LISTWISE .
```

Syntaxe pour la modification des diagonales

*Entrée : Matrice des pendulaires.

*Sorties : différentes matrices avec diagonales modifiées selon les paramètres choisis.

*Script permettant de modifier la diagonale de la matrice de façon à ce que la diagonale de la matrice soit équivalente à la moitié de la somme du reste de la matrice.

*Nous pouvons procéder de manière similaire pour d'autres rapports éventuellement souhaités.

```
GET FILE='C:\...\PenIntCant2000.sav'.
EXECUTE.
MATRIX.
GET DATA /VARIABLES=zh TO ju/NAMES=VARNAMES/MISSING=ACCEPT/SYSMIS=99.
COMPUTE nlines=nrow(DATA).
COMPUTE ncolones=ncol(DATA).
```

*Création des matrices transitoires permettant la construction des matrices avec diagonales modifiées.

```
COMPUTE DATASDIA= DATA-MDIAG(DIAG(DATA)).
COMPUTE TOTAL = RSUM(CSUM(DATA)).
COMPUTE TOTSDIA = RSUM(CSUM(DATASDIA)).
COMPUTE TOTADIA = RSUM(CSUM(MDIAG(DIAG(DATA))))).
```

```
*PRINT DATASDIA /TITLE"DATA sans la
diagonale"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.8.
*PRINT TOTAL./TITLE"Total des pendulaires
"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.8.
*PRINT TOTADIA./TITLE"Total avec
diagonale"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.8.
*PRINT TOTSDIA./TITLE"Total sans la
diagonale"/RNames=VARNAMES/CNames=VARNAMES/FORMAT=F8.8.
```

```
COMPUTE RAPP = TOTADIA/TOTSDIA.
*PRINT RAPP.
```

*Création des différentes matrices dont la diagonale est modifiée.

```
COMPUTE NEWDATA = DATASDIA+MDIAG(DIAG(DATA))/RAPP.
COMPUTE DATADEMI = DATASDIA+MDIAG(DIAG(DATA))/(2*RAPP).
COMPUTE DATAQUAR = DATASDIA+MDIAG(DIAG(DATA))/(4*RAPP).
COMPUTE DATA10EM = DATASDIA+MDIAG(DIAG(DATA))/(10*RAPP).
```

```
*PRINT DATADEMI.
*PRINT DATAQUAR.
*PRINT DATA10EM.
*PRINT NEWDATA.
*PRINT DATASDIA.
```

*sauvegarde des fichiers contenant les nouvelles matrices. Il faut bien sûr utiliser à nouveau le script principal pour obtenir les coordonnées issues des matrices modifiées.

```
SAVE NEWDATA/outfile='C:\...\NEWDATA.sav'.
SAVE DATADEMI/outfile='C:\...\DATADEMI.sav'.
SAVE DATAQUAR/outfile='C:\...\DATAQUAR.sav'.
SAVE DATA10EM/outfile='C:\...\DATA10EM.sav'.
SAVE DATASDIA/outfile='C:\...\DATASDIA.sav'.
END MATRIX.
```

Annexe IV : Populations résidentes en 1990 et 2000

Cantons	pop 1990	pop 2000
Zürich	1'150'546	1'211'647
Berne	945'573	943'696
Lucerne	319'525	347'209
Uri	33'650	35'246
Schwytz	110'526	130'232
Obwald	28'813	32'414
Nidwald	32'628	38'000
Glaris	37'648	38'546
Zoug	84'908	99'388
Fribourg	207'751	236'339
Soleure	226'655	244'015
Bâle-Ville	191'787	187'667
Bâle-Campagne	230'112	260'036
Schaffhouse	71'697	73'305
Appenzell Rh. Ext	51'470	53'515
Appenzell Rh. Int	13'573	15'021
Saint-Gall	420'268	449'399
Grisons	170'411	186'744
Argovie	496'280	544'306
Thurgovie	205'946	227'306
Tessin	286'725	310'215
Vaud	583'625	620'294
Valais	248'313	276'170
Neuchâtel	160'609	165'731
Genève	375'957	408'820
Jura	65'697	68'794

(source : OFS - Recensements fédéraux de la population 1990 et 2000)

Annexe V : valeurs propres

	Val. p.1990	Val.p. 2000	Val.p. (sdiag)
1	1	1	1
2	0.99	0.87	0.87
3	0.99	0.77	0.77
4	0.98	0.61	0.61
5	0.98	0.48	0.48
6	0.97	0.38	0.38
7	0.96	0.31	0.31
8	0.96	0.14	0.14
9	0.95	0.12	0.12
10	0.95	0.05	0.05
11	0.94	0.02	0.02
12	0.93	-0.01	-0.01
13	0.92	-0.03	-0.03
14	0.92	-0.04	-0.04
15	0.9	-0.1	-0.1
16	0.9	-0.13	-0.13
17	0.88	-0.15	-0.15
18	0.87	-0.17	-0.17
19	0.86	-0.24	-0.24
20	0.85	-0.31	-0.31
21	0.84	-0.36	-0.36
22	0.82	-0.49	-0.49
23	0.81	-0.58	-0.58
24	0.8	-0.61	-0.61
25	0.76	-0.74	-0.74
26	0.49	-0.81	-0.81

Annexe VI : matrice de flux pendulaires 1990.

Cantons	ZU	BE	LU	UR	SZ	OW	NV	GL	ZG	FR	SO	BS	BL	SH	AP	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU
ZU	778436	905	675	18	1689	25	63	120	3262	78	260	498	217	2544	77	103	3805	109	6986	1937	87	157	17	77	142	8
BE	1684	587932	644	4	37	34	24	12	112	2497	8485	365	309	18	19	4	141	48	1217	51	57	526	127	2521	173	645
LU	3506	1290	196397	133	923	595	1249	6	4721	40	443	178	88	10	9	0	114	15	3866	39	38	47	11	18	31	8
UR	114	11	352	19628	386	24	232	6	179	0	4	0	0	0	0	0	16	1	13	0	14	5	0	0	0	0
SZ	8891	60	1431	153	58948	15	37	345	2456	8	14	13	8	6	6	0	1896	12	118	17	6	15	5	0	10	0
OW	97	51	1419	13	16	16417	583	0	80	3	6	13	4	0	0	4	0	30	4	0	2	1	0	0	0	0
NV	231	34	3648	225	29	473	16747	0	238	0	18	18	12	0	0	11	0	59	5	7	4	0	3	0	0	0
GL	919	8	10	3	289	0	0	22788	24	0	0	0	2	7	0	773	23	13	2	0	0	0	0	0	0	0
ZG	5029	54	1213	13	430	15	50	4	51903	4	15	33	17	9	0	0	50	4	377	10	5	23	3	5	8	0
FR	2106	7192	339	2	22	13	14	10	80	63	123902	4723	5458	18	11	0	31	14	726	33	13	76	9	33	43	48
SO	1203	375	91	0	4	5	10	0	26	68	609	104587	14237	15	2	0	24	6	1095	8	12	25	7	11	16	21
BS	1025	444	129	0	13	11	7	13	45	28	2862	51951	106732	11	5	0	41	9	2053	19	15	32	5	16	25	49
BL	5652	21	10	0	6	0	0	4	17	1	4	14	12	38388	1	0	43	1	67	795	0	0	0	6	0	0
SH	280	17	9	0	6	0	0	0	13	2	5	6	8	6	24226	330	7624	12	16	224	6	4	5	0	0	0
AP	56	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590	7130	963	6	5	30	0	0	0	0	0	0
AI	10666	203	102	3	1210	10	13	1013	121	30	124	64	72	48	3328	2081252036	1105	254	5723	38	58	7	30	34	10	10
SG	500	58	35	7	13	0	0	18	32	4	24	7	21	5	4	2	1052	108066	58	26	1161	47	3	0	8	0
GR	40034	1208	2561	12	134	23	58	19	1587	70	5290	5136	3644	578	22	9	208	44	27885	97	81	93	22	22	59	21
AG	157	25	24	13	4	0	5	0	21	9	7	10	12	0	3	0	8	260	20	2	169646	22	2	2	23	14
TI	337	906	18	0	7	4	2	0	33	3223	25	53	16	0	1	0	15	3	26	8	24	377146	1927	840	19477	22
VD	141	274	39	7	8	9	4	0	21	107	11	28	18	0	1	0	28	6	45	7	12	3570	154971	61	354	11
VS	80	2448	7	0	0	0	4	0	3	160	122	17	10	1	0	0	3	0	13	1	7	896	27	102861	201	99
NE	152	355	31	0	8	0	0	0	42	128	10	16	13	0	0	10	10	10	10	3	51	2764	117	124	253609	18
GE	32	1566	13	0	0	0	0	0	0	13	236	512	263	0	0	0	4	0	0	0	2	64	9	555	47	33229

Mouvements pendulaires intercantonaux par canton de domicile en 1990.

En ligne : cantons d'origine

En colonne : cantons de destination

En diagonale : pendulaires intracantonaux.

Annexe VII : matrice de flux pendulaires 2000.

Département	ZU	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL	SH	AP	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU
ZU	816350	1501	1434	33	2783	33	82	288	5476	140	480	1068	494	3278	106	8	5838	240	10201	3608	283	193	43	66	52	8
BE	3003	805161	1329	20	83	111	45	17	235	3827	10656	705	549	32	30	0	161	49	1888	82	87	755	155	3438	268	909
LU	4817	1713	211631	146	1426	802	1647	7	7540	66	963	318	189	16	9	0	113	18	4851	48	49	57	17	8	25	2
UR	166	21	754	19709	753	71	411	5	320	0	8	5	7	0	0	0	0	15	7	29	0	23	4	12	6	0
SZ	12631	124	2261	267	65634	40	78	505	3959	14	33	43	42	15	9	0	2626	58	249	41	18	17	1	0	0	0
OW	186	100	2595	33	40	18273	973	0	232	1	12	10	13	0	0	0	5	1	51	2	1	5	0	0	0	0
NW	412	86	4856	185	79	864	18635	0	543	9	22	24	25	0	0	0	16	4	125	7	9	10	2	0	0	0
GL	1314	25	20	6	547	0	0	22307	38	0	2	6	9	0	0	0	1033	93	17	8	4	3	0	0	2	0
ZG	7444	137	2752	51	873	50	108	10	58124	25	46	68	39	7	3	0	84	9	705	25	32	21	6	6	15	0
FR	395	13314	68	0	8	6	3	0	65141766	134	71	44	6	5	0	30	5	110	12	25	9041	117	581	377	12	
SO	2759	11371	590	4	37	10	32	4	111	106125463	5516	7226	10	6	0	65	10	9102	43	18	63	15	87	21	51	
BS	1751	543	147	4	6	8	9	3	56	44	785	94965	15017	11	1	0	42	15	1762	14	15	28	3	19	25	23
BL	1992	753	233	0	21	10	10	0	89	38	3151	47910	112666	9	2	0	50	13	3278	20	15	31	8	18	12	51
SH	6966	45	15	0	11	0	0	0	26	1	10	38	20	39036	2	0	115	7	165	985	7	6	0	0	0	0
AP	491	27	10	0	7	0	0	4	16	4	7	4	15	5	24453	566	9617	14	25	427	2	0	0	0	0	0
AI	64	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	790	7668	1281	8	4	45	0	0	0	0	0	
SG	15679	294	108	9	1835	12	16	1316	214	34	49	85	92	82	5025	338	266375	2022	314	7768	30	26	12	2	13	3
GR	948	84	40	32	39	5	6	55	81	6	15	40	31	6	16	1	1663	120839	70	43	1297	11	6	0	5	0
AG	47876	2221	4313	22	291	39	82	23	2940	80	6565	7000	5020	106	24	1	330	47	289953	160	54	87	21	10	41	6
TG	14602	146	60	0	41	7	4	7	90	26	34	62	49	1702	406	28	12941	33	264	125491	4	10	0	3	0	0
TI	432	121	44	19	20	8	12	2	75	50	22	53	30	4	6	0	44	362	67	15	188772	60	16	11	20	0
VD	636	1850	69	3	16	5	11	4	62	4634	61	95	80	5	4	0	13	16	125	16	71	391122	2247	1717	23867	39
VS	186	442	48	13	4	0	9	0	30	249	22	56	24	0	0	5	14	61	0	0	31	6716	169584	72	601	16
NE	157	3614	15	0	9	0	0	0	19	379	189	25	22	4	0	11	0	0	47	12	7	1798	35	102600	325	184
GE	169	221	8	0	3	0	0	0	16	10	124	8	33	8	0	4	8	20	0	0	53	5037	138	169	269221	22
JU	55	2118	6	0	0	0	0	0	40	271	617	357	0	0	0	4	4	0	49	0	0	93	13	943	54	39574

Mouvements pendulaires intercantonaux par cantons de domiciles en 2000.

En ligne : cantons d'origine

En colonne : cantons de destination

En diagonale : pendulaires intracantonaux.

Annexe VIII : coordonnées X pour les flux pendulaires 2000.

ZU	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	ES	BL	SH	AP	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU
-1	0.23	0.76	0.22	-0.54	-0.2	0.16	0.13	0.09	0.24	0.52	1.19	-0.08	0.02	-0.03	0.17	-0.42	-0.02	-0.58	0.34	0.81	-0.52	-0.03	-0.11	0.04	0
-1	-0.34	0.01	-1.3	1.1	0.59	0.34	-0.26	-1.23	-0.35	0.04	0.02	-0.82	0	0.61	-0.12	0.03	0	-0.29	0.1	0.22	0.43	-0.02	0	0	-0.01
-1	0.16	0.72	-0.18	-0.61	-0.08	-2.29	-1.72	0.02	-0.16	1.17	-1.59	0.18	-0.11	-0.02	0.48	1.93	0.14	0.36	0.21	0.87	-0.28	0.1	-1.27	0	0
-1	0.26	0.76	0.09	-0.63	-0.19	-4.12	-4.86	0.16	-2.05	-12.33	4.95	-0.45	-0.59	0.07	-0.06	0.03	0.07	1.02	0.14	0.91	-0.08	0.78	-0.52	-0.03	0
-1	0.25	0.78	0.3	-0.62	-0.24	-0.26	-0.72	0.02	-0.07	-0.07	-0.07	-0.03	0.83	-0.04	1.04	0.52	-0.23	-3.78	-0.66	0.19	-0.06	-2.63	-1.84	0.36	0
-1	0.16	0.75	-0.21	-0.73	-0.09	-3.43	-2.93	-0.01	-0.47	1.41	-3.36	0.42	-0.54	-0.29	-6.03	-11.21	-0.51	-0.67	-0.56	-1.67	0.62	3.62	-3.27	0	0
-1	0.17	0.74	-0.16	-0.71	-0.1	-2.96	-2.49	0.03	-0.41	0.53	-2.01	0.27	-0.33	-0.13	-1.85	-2.59	-0.06	0.08	0.13	0.95	-0.76	-9.13	9.27	0.02	0
-1	0.35	0.82	0.88	-0.48	-0.4	1.48	-0.66	-0.25	-0.54	-0.98	-1.48	0.05	13.4	-0.02	-1.4	0.1	0.42	1.53	1.09	0.65	-0.03	0.33	0.26	0.3	0
-1	0.74	0.05	-0.6	-0.15	-1.04	-0.81	-0.81	-1.42	0.07	0.68	0.11	0.04	0.16	-0.04	0.84	0.62	-0.05	-1.62	-0.04	-2.19	8.83	5.08	4.86	-0.18	0
-1	-0.71	-0.61	-0.7	0.78	0.01	0.34	-0.39	-1.42	-0.07	0.65	0.43	2.68	0.01	-4.22	0.25	-0.04	0	0.25	-0.07	-1.97	-4.46	0.24	0.1	0	0
-1	-0.07	0.42	-0.84	0.36	0.37	-0.4	1.07	-0.15	0.13	-0.34	-0.32	-0.28	0	0.46	0.28	-0.15	-0.02	1.66	-0.72	-1.97	-4.46	0.24	0.1	0	0
-1	0.03	0.58	-0.71	0.05	0.33	-0.83	2.61	0.91	0.45	-1.26	-1.27	0.53	-0.01	-0.31	-0.57	0.28	0.02	-1.11	0.33	0.56	0.63	-0.01	-0.01	0	0.13
-1	0.03	0.58	-0.73	0.05	0.33	-0.94	2.63	0.89	0.47	-1.29	-1.29	0.53	-0.01	-0.3	-0.57	0.28	0.02	-1.11	0.32	0.5	0.43	0.01	-0.01	0	4.35
-1	0.26	0.81	0.36	-0.67	-0.31	0.72	0.1	0.05	0.27	0.74	1.98	-0.17	-0.68	-0.31	-0.78	3.11	5.48	0.87	-3.24	-0.86	0.57	0.04	0.1	0	-3.82
-1	0.38	0.85	1.05	-0.43	-0.44	-0.51	-0.52	-0.38	-0.99	-1.16	-2.43	0.16	-0.98	-0.11	1.82	-0.71	2.16	0.03	-1.29	0.76	-0.01	0.45	0.36	10.84	0
-1	0.4	0.68	1.19	-0.48	-0.51	2.85	-0.66	-0.52	-0.99	-1.79	-3.88	0.3	-1.91	0.32	5.8	-3.56	16.29	0.97	12.02	-2.78	0.03	-0.46	-0.35	-5.02	0
-1	0.36	0.82	0.99	-0.36	-0.36	1.82	-0.42	-0.28	-0.49	-0.8	0.22	0.31	-0.02	-0.01	0.47	-0.06	0.02	0.04	-0.13	-1.75	0.52	-0.01	0.01	0	0
-1	1.48	-0.03	3.89	4.27	0.85	-1.21	0.22	0.11	0.15	0.22	0.31	-0.02	-0.01	0.1	0.99	-0.55	-0.04	0.03	0.14	-0.05	0.01	-0.01	0	0	0
-1	0.13	0.68	-0.2	-0.33	0.01	-0.46	-0.24	-0.19	-0.26	-0.31	-0.48	0.02	0.01	0.1	0.99	-0.55	-0.04	0.03	0.14	-0.05	0.01	-0.01	0	0	0
-1	0.32	0.84	0.73	-0.57	-0.38	1.59	-0.24	-0.19	-0.26	-0.31	-0.48	0.02	-1.01	-0.08	-2.14	1.14	-2.36	1.32	3.29	-1.36	0.33	-0.05	0	0	0
-1	3.95	-2.74	-0.92	-0.73	-0.12	0.14	-0.01	0	-0.01	-0.01	-0.04	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1.12	-1.34	0.37	-0.05	-0.82	-0.06	0	-0.1	0.12	0	0.17	1.87	0	1.78	-0.08	0.01	0	-0.04	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0
-1	-1.29	-1.65	1.48	-1.19	3.99	0.09	0.01	0.1	-0.05	0.01	-0.06	-0.69	0	-0.38	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
-1	-0.66	-0.49	-1.3	1.47	3.65	0.08	-2.41	3.65	0.08	-0.41	-0.36	-0.46	0	-0.36	0.04	-0.01	0	0.06	-0.02	-0.03	-0.05	0	0	0	0
-1	-1.24	-1.54	0.63	-0.09	-2.09	-0.42	0.48	0.26	-0.41	0	-0.26	-2.33	-0.01	-1.11	0.04	-0.01	0	0.02	0	-0.01	0	0	0	0	0
-1	-0.35	-0.01	-1.76	1.64	0.93	1.16	-0.44	6.46	-7.7	1.42	0.53	1.03	0	-0.22	0.12	-0.04	0	0.15	-0.04	-0.05	-0.03	0	0	0	-0.03

Bibliographie

- BACH F. R., JORDAN M. I., (2003), *Learning Spectral Clustering*, Berkeley, EECS Department, University of California, (http://www.di.ens.fr/~fbach/nips03_cluster.pdf), consulté en octobre 2009.
- BAILLY A., BEGUIN H., (2001a), *Introduction à la géographie humaine* (8), Paris, A. Colin.
- BAILLY A. [ET AL.], (2001b), *Les concepts de la géographie humaine* (5), Paris, A. Colin.
- BASSAND M., BRULHARDT M.-C., (1980), *Mobilité spatiale: bilan et analyses des recherches en Suisse*, Saint-Saphorin : Georgi, cop.
- BAVAUD F., (1998), *Modèles et données : une introduction à la statistique uni-, bi- et trivariée*, Paris, L'Harmattan.
- BAVAUD F. (2008), «The endogenous analysis of flows, with applications to migrations, social mobility and opinion shifts», in *The Journal of Mathematical Sociology*, 32(4), New-York, Routledge.
- BAVAUD, F. (2006a), «Spectral Clustering and Multidimensional Scaling: A Unified View», in Batagelj, V., Bock, H.-H., Ferligoj, A. et Ziberna, A., *Data Science and Classification*, New York. 131-139.
- BAVAUD F., (2006b), *On spatial autocorrelation induced by exchanged flows*, Lausanne, preprint, Unil.
- BAVAUD F., (2006c), *Méthodes quantitatives III, support de cours*, Lausanne, Unil.
- BAVAUD, F. (2004), «Generalized factor analyses for contingency tables», in D.Banks et al. (Eds.): *Classification, Clustering and Data Mining Applications*, Berlin, Springer, 597-606.
- BÉGUIN M., PUMAIN D., avec la collab. de E. Pascard, (2007), *La représentation des données géographiques : statistique et cartographie*, Paris, A. Colin.
- BOLZMAN C., VIAL M., (2007), *Migrants au quotidien: les frontaliers: pratiques, représentations et identités collectives*, Zürich: Seismo.
- BORG I., GROENEN P., (1997). *Modern Multidimensional Scaling - Theory and Applications*, New-York, Springer.
- BÜRGI-SCHMELZ A., HAUG W., SCHULER M., WEGELIN F. [intervenants lors de la conférence de presse], (2003), *Pendularité, nouvelle définition des agglomérations*, Berne: Office fédéral de la statistique.

CHAPELON L., (2004), «Flux», *Hypergéogé* [En ligne], mis en ligne en mai 2004, url: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article57#>, consulté en septembre 2009.

CHUNG F. R. K., (1997), «Spectral Graph Theory», *CBMS Regional Conference Series in Mathematics (92)*, Providence, American Mathematical Society.

COX T. F., COX M. A. A. (1994). *Multidimensional scaling*, London [etc], Chapman & Hall.

DA CUNHA A., BOTH J.-F., (2004), *Métropolisation, villes et agglomération: Structures et dynamiques socio-démographiques des espaces urbains*, Neuchâtel: Office fédéral de la statistique.

DESBOIS D., (2005), «Une introduction au positionnement multidimensionnel», in *la revue Modulad 32*, [en ligne], mise en ligne en janvier 2005, url: <http://www-roc.inria.fr/axis/modulad/archives/numero-32/desbois-32/desbois-32.pdf>, consulté en juillet 2009.

DOZIO A., (1995), *La mobilité quotidienne dans les cinq grandes agglomérations suisses*, Berne: Office fédéral de la statistique.

DUMOLARD P., DUBUS N., CHARLEUX L., (2003), *Les statistiques en géographie*, Paris, Belin.

ESCOUFIER Y., (1975), «Le positionnement multidimensionnel», in *Revue de Statistique Appliquée*, 23 no. 4, 5-14.

FIELD, A., (2005), *Discovering statistics using SPSS, 2nd ed.*, London [etc], Sages Publ.

FRICK R.[ET AL.], (2004), *La pendularité en Suisse*, Neuchâtel: Office fédéral de la statistique.

GRASLAND C., (2004), «Interaction spatiale», *Hypergéogé* [En ligne], mis en ligne en avril 2004, consulté en septembre 2009, url: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article2#>

GREEN P. E., CARMONE F. J., SMITH, S. M., (1989), *Multidimensional scaling: concepts and applications*, Boston, Allyn & Bacon.

GREEN SAMUEL B., SALKIND NEIL J., (2003), *Using SPSS for Windows And Macintosh: Analyzing and Understanding Data*, 3rd ed, Upper Saddle River N.J., Prentice Hall.

HUDSON R., (2005), *Economic geographies: circuits, flows and spaces*, London [etc.], Sage.

JOLY F., (1976), *La cartographie*, Paris, PUF.

JOUBE B. (DIR),...[ET AL.] (2006), *Des flux et des territoires : vers un monde sans Etats?*, Sainte-Foy (Québec), Presses de l'Université du Québec.

KRUSKAL J., WISH M., (1978), *Multidimensional scaling*, London, Sage.

LÉVY J., LUSSAULT M., (DIR.),...[ET AL.], (2003), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, sous la direction de Jacques Lévy et Michel Lussault, Paris, Belin.

MOUCHET S. (2007), *Travailleurs frontaliers du canton de Genève en 2006*, Genève : Office cantonal de la statistique (OCSTAT).

NG A. Y., MICHAEL I., JORDAN M. I., WEISS Y., (2002), «On Spectral Clustering: Analysis and an algorithm», in *Advances on Neural Information Processing Systems*,14, MIT Press.

OFFNER J.-M., «Flux», (2003), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Lévy J, Lussault M. (dir.), Paris, Belin.

PINI G., (1995), «L'interaction spatiale», in *Encyclopédie de Géographie*, Bailly A., Ferras R., Pumain D. (dir), Paris, Economica.

PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., (2001), *Flux et changements dans l'espace géographique*, Paris, A.Colin.

PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., avec la collab. de H. Mathian, (2004), *L'analyse spatiale: localisations dans l'espace*, Paris, A.Colin.

PUMAIN D., ROBIC M.-C., (2002) «Le rôle des mathématiques dans une «révolution» théorique et quantitative»: la géographie française depuis les années 1970 », in *Revue d'histoire des sciences humaines* 2002/1, N° 6, p. 123-144.

PUMAIN D., (2004), «Modèle gravitaire», *Hypergéogé* [En ligne], mis en ligne en mai 2004, consulté en septembre 2009, url: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article76#>

SANDERS, L., (1990), *L'analyse des données appliquée à la géographie*, Montpellier, Reclus.

SANDERS L.(Editeur), (2001), *Modèles en analyse spatiale*, Paris, Hermès Science.

SCHULER M. [ET AL.], (2007), *Atlas des räumlichen Wandels der Schweiz = Atlas des mutations spatiales de la Suisse*, Zürich : Verl. Neue Zürcher Zeitung.

SCHULER M., Dessemontet, P., Joye, D, (2005), *Les niveaux géographiques de la Suisse*, Neuchâtel: Office fédéral de la statistique.

SCHULER M., HUISSOUD, T., JEMELIN, C., STOFER, S. (1997), *Strukturatlas der Schweiz = Atlas structurel de la Suisse*, Zürich : Verl. Neue Zürcher Zeitung.

SHEPARD R. N. (1974), «Representation of Structure in Similarity Data: Problems and Prospects», in *Psychometrika*, vol.39, n°4.

SHEPARD, R. N. (1962), « The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an unknown Distance Function », in *Psychometrika*, 27, 219-246.

SPSS inc., (1983), *SPSS x user's guide*, New York ; St. Louis [etc.], McGraw-Hill Book Comp., SPSS inc.

TOURNOIS, J. DICKES, P. (1993), *Pratique de l'échelonnement multidimensionnel: de l'observation à l'interprétation*, Bruxelles, De Boeck Université.

TUIA D., BAVAUD F., (2007), Mapping geostatistical distances revealed by flows: a Markov Chains scaling formalism, papier présenté à la Spatial Econometrics Association (SEA), Cambridge.

VON LUXBURG U., (2006), *A Tutorial of Spectral Clustering*, Technical Report No. TR-134, Max Planck Institute for Biological Cybernetics, Tübingen.

Vuille A., Schuler M., Borkowsky A., [trad.: Service de traduction de l'OFS], (2005), *Vie active, pendularité et formation*, Neuchâtel: Office fédéral de la statistique.