EXPLORATION ET REPRÉSENTATION D'UNE MATRICE DE FLUX

par Marie Piron

Institut de recherche pour le développement
32 av. H.Varagnat 93140 Bondy
Courriel : marie.piron@ird.fr

La méthode proposée met l'accent sur l'exploration, la représentation et l'analyse globale d'une matrice de flux. Fondée sur les outils d'analyses statistiques exploratoires (analyse des correspondances et classification ascendante hiérarchique), cette méthode permet : i) d'organiser, de structurer et de hiérarchiser l'ensemble de l'information contenue dans la matrice de flux ; ii) de représenter graphiquement les principales structures spatiales résultant des échanges entre lieux, sans fixer a priori des hypothèses sur les zones et seuils de flux et en les suggérant a posteriori ; iii) de fournir une double représentation cartographique qui considère l'ensemble des lieux origine et destination ainsi que l'ensemble des flux qu'ils soient sur- ou sous-représentés. Les nombreux retours au tableau de données, que cette méthode impose, rejoint en quelque sorte la démarche du traitement graphique d'une matrice de Bertin.

Introduction

Les matrices de flux entre lieux sont généralement exploitées de deux manières complémentaires. Dans un premier temps, des indicateurs, élaborés à partir des marges de la matrice, informent sur les qualités des lieux en termes d'attraction ou d'importation et d'émissivité ou d'exportation et constituent des résumés statiques. Dans un second temps, l'étude des interactions, proprement dites, entre les lieux d'origine et les lieux de destination relève d'une démarche plus dynamique. Elle est alors abordée à travers une approche descriptive associée à une représentation cartographique qui peut poser des problèmes dès que la matrice est importante. Les choix de lieux et de seuils des flux s'imposent et dépendent dans ce cas de la problématique. Comme le souligne Torricelli, "des contraintes sont fixées pour éliminer une part du "bruit" en identifiant les principaux flux et les principaux centres d'attraction" (Torricelli 1997). Dans (Berroir et al. 2008) sont discutées les notions de centralité, de différenciation et de hiérarchie entre lieux pour aboutir à une représentation des polarisations définies comme résultant de l'organisation des flux. D'autres travaux adoptent une approche prédictive et portent sur la mise en place de modèles soit pour prévoir des flux, soit comme filtre d'analyse de la matrice de flux (Pumain et Saint-Julien 2001). C'est le cas aussi des travaux de Tobler qui s'est intéressé à la représentation cartographique des flux en développant un modèle pour estimer le pouvoir attractif des lieux (Cauvin et Reymond 1991).

Nous proposons une méthode exploratoire qui vient en complément et préliminaire de la démarche descriptive de l'analyse d'une matrice de flux. Pour cela, nous considérons la matrice de flux comme un tableau de contingence associé à un graphe valué dont les sommets sont définis par les lieux, et les valeurs des arcs par les effectifs c'est-à-dire les flux de la matrice. Nous cherchons à définir et à représenter graphiquement les principaux flux entre les lieux tels qu'ils apparaissent dans la matrice sans fixer de lieux et de seuils a priori. Par principaux flux, nous entendons ici les flux qui structurent et organisent l'information contenue dans la matrice, et ne sont pas forcément les flux les plus importants en effectifs. En effet, la méthode "des seuils", c'est-à-dire la suppression des arcs inférieurs à un certain seuil, est trop sensible aux différences de taille des lieux. Nous souhaitons donner la même importance aux lieux qu'ils soient faiblement ou fortement peuplés. Il s'agit par conséquent de saisir et représenter l'organisation spatiale liée aux flux, toute autre analyse plus spécifique, comme définir les zones attractives par exemple, pouvant être réalisée dans un second temps.

La méthodologie proposée repose sur les outils classiques de la statistique exploratoire : i) l'analyse de correspondances qui permet de déceler les flux déterminants et de rapprocher et donc de différencier les lieux selon les échanges qu'ils entretiennent ; ii) la classification qui regroupe les lieux "origine" (respectivement "destination") ayant des profils similaires quant à leurs échanges avec les lieux "destination" (respectivement "origine") et permet ainsi de synthé-

tiser et cartographier la matrice. Cet enchaînement de techniques s'applique aux tableaux de contingence, c'est-à-dire aux matrices de flux bruts, et offre une représentation graphique et cartographique des principales structures spatiales résultant des échanges entre lieux sans fixer a priori des hypothèses sur les zones et seuils de flux. En revanche, cette méthode peut suggérer a posteriori des hypothèses sur ces choix, ce qui n'exclut évidemment pas, à terme, des choix raisonnés. Cette méthodologie est particulièrement adaptée pour explorer, avant tout autre traitement plus ciblé et spécifique, les interactions entre lieux, en imposant des retours constants sur la matrice et paraît très proche en cela de la démarche de l'analyse d'une matrice de Bertin. Elle peut s'imposer lorsque la matrice est de dimension importante. Nous appliquons cette méthode sur les déplacements "domicile-travail" de l'agglomération de Mexico, en l'orientant délibérément sur les aspects méthodologiques.

1 Application aux déplacements "domicile-travail" de l'agglomération de Mexico

1.1 Données et matrice

Les données sont issues du recensement de la population mexicaine de 2000. Le domaine d'étude est circonscrit à l'agglomération de Mexico décomposée en 16 délégations qui constituent le district fédéral de Mexico, à l'intérieur duquel on distingue les 4 quartiers centraux, et les 40 municipes de l'agglomération. Par abus, nous désignerons l'ensemble des 56 lieux par le terme "municipe" (fig. 1). Ces unités géographiques sont étendues et nécessiteraient, pour une telle analyse, un découpage plus fin qui, néanmoins, existe rarement au niveau de données institutionnelles.

La matrice est obtenue par le croisement du lieu de résidence et du lieu de travail au moment du recensement (fig. 2). La population concerne par conséquent les actifs occupés. Toutefois, l'étude des interactions entre lieux s'intéresse avant tout aux déplacements entre les zones. Or, plus les zones sont vastes et moins les déplacements sont importants, autrement dit, plus le nombre d'actifs travaillant dans leur municipe de résidence, représenté sur la diagonale de la matrice, est élevé. Cela a des conséquences pour l'analyse exploratoire. En effet, une diagonale chargée fixe les premiers facteurs de l'analyse factorielle masquant les déplacements hors du municipe. De fait, la diagonale est mise à zéro ce qui signifie que l'on considère, pour l'analyse, les actifs occupés qui travaillent hors de leur municipe de résidence. On perçoit bien ici les effets du découpage géographique et l'intérêt d'un découpage fin qui pourrait permettre d'étudier l'ensemble des actifs occupés.

Deux questions sont possibles. Où travaillent les actifs qui résident dans la zone métropolitaine de Mexico ? Où résident les actifs qui travaillent dans cette zone ? On privilégiera ici la deuxième question. De fait, si par convention les lieux en lignes désignent généralement le lieu d'origine, on verra que pour les besoins de la méthode de classification, les lignes représentent les zones d'emploi.

1.2 Indicateurs de base

Différents indicateurs de flux peuvent être extraits selon la problématique posée (coefficient d'attraction, solde, ….). Nous retenons ici ceux résultant des marges et de la diagonale de la matrice (fig. 3) que nous envisageons à la fois pour la population des actifs occupés et pour celle des actifs occupés travaillant hors de leur municipe de résidence, que nous qualifions d'"interzone" (diagonale nulle). Les deux derniers indicateurs, équivalant aux indices d'émissivité et d'attractivité des zones (Pumain et Saint-Julien 2001), désignent les poids des éléments de l'analyse (lieux d'emploi en ligne et lieux de résidence en colonne). Rappelons que cette analyse accorde autant d'importance aux municipes faiblement ou fortement peuplés, d'où l'intérêt de visualiser la distribution de ces indicateurs.

2 Exploration des liens par l'analyse des correspondances

L'analyse des correspondances s'applique aux tables de contingence et met en évidence, dans le contexte de la matrice "travail-domicile", les relations entre lieux de travail et lieux de résidence. Sans rentrer dans le détail de l'analyse (Lebart et al. 2006), le principe repose sur :

La notion de distance statistique distributionnelle : i) les distances entre les lieux de travail (distance du Khi2) sont décrites par la répartition des travailleurs selon leur lieu de résidence : deux lieux de travail seront proches statistiquement si les personnes qui y travaillent résident dans les mêmes lieux ; ii) les distances entre les lieux de résidence sont décrites par la répartition des travailleurs selon leur lieu de travail : deux lieux de résidence seront proches s'ils sont concernés par les mêmes lieux de travail.

Une lecture simultanée des profils-lignes et des profils-colonnes de la matrice, due au fait que les lignes et colonnes de la matrice jouent des rôles

symétriques. L'analyse génère des facteurs définis par les lieux qui se ressemblent ou se différencient selon les échanges qu'ils entretiennent. Le croisement de deux facteurs produit des représentations graphiques qui sont liées par des relations quasi-barycentriques, ce qui place un municipe de travail au barycentre (à un coefficient de dilatation près) des lieux de résidence et réciproquement. L'optimalité graphique de l'analyse des correspondances pour la visualisation de telles données relationnelles est traitée dans (Le Foll et Burstchy 1983). Cependant, elle ne véhicule qu'une partie de l'information, qui est cependant la plus structurante et synthétique.

La représentation simultanée tend donc à rapprocher, sur les premiers facteurs, les municipes de résidence et les municipes d'emploi dont les déplacements sont les plus structurants : ce sont ceux du nord de la zone métropolitaine dégagés par l'axe 1 ; puis ceux de l'est de la métropole (axe 2) et ceux opposant le nord et le sud observés sur l'axe 3. L'examen des deux premiers plans factoriels (fig. 5 et 6) montre que les déplacements sont de proximité (proximité toute relative compte tenu de l'échelle de Mexico) : les municipes limitrophes ont relativement beaucoup d'échanges entre eux et ceux qui sont éloignés en ont peu. Chaque plan fournit ainsi une information spécifique sur les différents déplacements, le plan (2,3) pointant sur d'autres liens et zones non décelés par le plan principal.

La figure suivante (fig. 7) permet de mieux comprendre cette représentation : nous avons sélectionné les déplacements de cinq lieux de travail (Texcoco, Chiconcuac, Alcoman, Cuautitlan, Tlanepantla contribuant de façon significative à la formation du plan factoriel principal), vers les lieux de résidence préférentiels au regard du tableau des profils de lieux d'emplois (profils-lignes) (fig. 7a). On retient ici, non pas l'ensemble des flux supérieurs à un seuil, mais les plus significatifs c'est-à-dire ceux qui s'écartent le plus du flux moyen. Ainsi, parmi les actifs travaillant à Texcoco, 9,2% résident à Chiautla qui concentre 0,1% de la population résidente de l'agglomération de Mexico. Cette procédure est à rapprocher des relations préférentielles entre zones, décrites dans (Pumain et Saint-Julien 2001). Nous avons ensuite tracé ces déplacements sur le plan factoriel (fig. 7b), sur lequel on constate bien que chaque lieu de travail considéré est proche des lieux de résidence avec lesquels ils entretiennent des échanges significatifs (relations quasi-barycentriques). Nous les avons ensuite cartographiés selon la représentation par flèches (fig. 7c). La démarche est identique en considérant les déplacements du lieu de résidence vers le lieu de travail en référence aux profils des lieux de résidence (profils-colonnes). On réalise ainsi l'examen complet du plan factoriel.

De par certaines de ses propriétés, système de pondérations des lieux, distance distributionnelle et relations quasi-barycentriques, l'analyse des correspondances permet de dégager les déplacements les plus significatifs entre municipes, que ce soit du lieu de résidence vers le lieu de travail ou inversement, sans identifier des lieux a priori et sans fixer de seuils de flux. Elle pointe ainsi sur les lieux de résidence ou d'emploi qui contribuent à la formation des axes et qui peuvent alors susciter un retour ciblé sur les données. La carte des liens peut cependant devenir vite complexe si l'on s'intéresse à tous les lieux contributifs de l'analyse.

3 Représentation cartographique par la classification

La question de la représentation cartographique d'une matrice de flux a été largement étudiée par Tobler (Cauvin et Reymond 1991). La représentation classique des flux, celle par des flèches, pose le problème de la taille de la matrice si l'on ne veut pas se restreindre aux flux les plus importants. La méthode proposée repose sur des outils statistiques de réduction de la matrice (analyse factorielle puis classification) sans pour autant opérer au préalable des agrégations par regroupement de lieux contigus, qui peuvent être souvent discutables. De plus, nous rappelons qu'un découpage fin est préférable à un découpage plus grossier.

Effectuer une classification sur une telle matrice doit permettre de cartographier l'ensemble des déplacements, sur-représentés ou sous-représentés, les plus significatifs pour l'ensemble des lieux. Nous optons pour la classification ascendante hiérarchique reconnue pour sa complémentarité avec l'analyse des correspondances et qui restitue directement toute l'information contenue dans la matrice. L'objectif est de regrouper ici les lieux de travail (d'où la nécessité de les représenter en ligne dans la matrice de flux) selon la provenance des personnes qui y travaillent. Elle permet ainsi de définir des classes de lieux de travail pouvant facilement être cartographiées. Le principe de l'algorithme d'agrégation, selon la variance, consiste à rechercher à chaque étape une partition telle que la variance interne de chaque classe soit minimale et par conséquent la variance entre les classes soit maximale. On obtient ainsi une hiérarchie de partitions.

L'examen de l'histogramme des indices de niveau (fig.8) suggère de retenir trois partitions emboitées en 4, 6 et 9 classes. Les cartes associées à ces trois partitions (fig. 9) confirment que les regroupements sont de proximité, à l'exception de la classe 2/4, équivalente aux classes 3/6 et 4/9.

Une fois définies les classes de lieux de travail, il s'agit de les interpréter en les caractérisant par les lieux de résidence, c'est-à-dire en identifiant les lieux où résident les personnes qui travaillent dans les zones d'emploi dégagées par la classification. Pour sélectionner les lieux de résidence qui caractérisent le plus chaque classe, on mesure l'écart entre les valeurs relatives à la classe et les valeurs globales. Ces statistiques peuvent être converties en valeur-test qui permettent d'opérer un tri sur les lieux de résidence et de désigner les plus caractéristiques (Lebart et al. 2006). Une valeur-test positive (respectivement négative) signifie que le lieu est sur-représenté (respectivement sous-représenté) dans la classe. Ces lieux de résidence peuvent ainsi être cartographiés, pour chaque classe de la partition retenue, selon la valeur de la valeur-test.

Nous caractérisons la partition en 6 classes en cartographiant les lieux de résidence selon leur valeur-test c'est-à-dire selon leur degré de représentation dans la classe. Ces cartes (fig. 10) constituent ainsi la légende de la carte relative à la partition en 6 classes des lieux d'emploi (fig. 9b). Cette représentation cartographique se lit en deux temps : la zone hachurée désigne les lieux de travail et les zones colorées les lieux de résidence. Comme nous l'avons observé dans l'analyse des correspondances, les déplacements se font vers les municipes limitrophes et ce, malgré le fait que les déplacements internes soient ignorés.

Une seule exception est donnée par la classe 3/6 qui rend compte des déplacements à l'est de la zone métropolitaine. On observe qu'Isidro Fabela, situé à l'ouest, recrute des actifs qui résident à l'est. Un retour sur les données (fig7a, classe 3/6 surlignée gris foncé) montre que 50% des personnes qui travaillent dans ce municipe (mais n'y résident pas) résident à Texcoco. Même si les 50% des autres actifs employés à Isidro résident dans les municipes limitrophes, cette particularité affecte Isidro dans la classe des municipes recrutant des résidents de la zone est. Par la suite, il faut s'interroger sur les raisons d'un tel déplacement massif et statuer sur l'affectation de ce municipe dans cette classe.

Par ailleurs, la classe 4/6 regroupe les municipes d'emploi du nord-est qui recrutent dans un champ relativement étendu à l'est de la zone métropolitaine. En se référant à la fois au tableau de données (fig. 7a) et aux autres classes de la figure 10, on observe alors que si les actifs travaillant à Ecatepec résident dans cette zone élargie, en revanche, pris comme lieu de résidence, ce municipe ne fait pas partie de cette zone et ses résidents vont travailler dans le district fédéral (classe 1/6) ou à l'ouest de l'agglomération de Mexico (classe (5/6). Rappelons que plus de 80% de la population d'Ecatepec travaillent dans leur lieu de résidence (fig. 4 e).

Discussion et conclusion

La méthode proposée, fondée sur les techniques de la statistique multidimensionnelle, met l'accent sur l'exploration et l'analyse globale d'une matrice de flux et s'apparente de très près au principe des matrices de Bertin (Bertin 1980). Elle permet :

- d'organiser, de structurer et de hiérarchiser l'ensemble de l'information contenue dans la matrice de flux ;
- de suggérer des hypothèses a posteriori quant aux lieux spécifiques et seuils associés ;.
- d'avoir une vision globale des principaux mouvements d'une population, suggérée par une double représentation cartographique : la légende de la carte de la typologie des lieux d'emploi est constituée de cartes des lieux de résidence caractérisées par une sur- ou sous-représentation les zones d'emploi ;
- de contrôler la qualité des données par les nombreux retours sur la matrice que l'analyse impose.

Cette méthode repose sur des outils d'analyse statistique et non d'analyse spatiale. L'effet d'autocorrélation spatiale observé est lié au fait que les municipes contigus entretiennent des échanges importants qui structurent l'agglomération de Mexico. Ceci n'exclut évidemment pas des déplacements plus éloignés, mais qui restent minoritaires. On peut cependant penser que ces échanges de proximité sont suffisamment importants pour que la diagonale mise à zéro ne joue pas un rôle perturbateur. En effet, a priori une diagonale nulle peut éloigner deux zones ayant des échanges mutuels importants. Des travaux (Benzecri 1973 ; Escoffier 1984) ont montré qu'une diagonale chargée symétrise les résultats et a une influence prépondérante sur leur structure. Quand elle est nulle, elle peut faire apparaître des facteurs inverses et l'interprétation est délicate ce qui, toutefois, est surtout le cas pour l'analyse d'une matrice symétrique. Dans l'analyse présentée, elle se justifie par l'intérêt d'étudier uniquement les flux entre zones. Un objectif peut être néanmoins d'améliorer la méthode pour ne pas donner le même

rôle aux échanges nuls entre deux lieux et aux échanges nuls liés aux flux internes.

Remerciements : Clara Eugenia Salazar Cruz et Romain Imbach.

Bibliographie

Benzécri J.-P., 1973, *L'analyse des données*, tome 2: *L'analyse des correspondances*. Paris, Dunod.

Berroir S., Mathian H., Saint-Julien Th., Sanders L., 2008, "La mobilité dans la construction du polycentrisme métropolitain", dans *Information géographique et dynamique urbaine, vol. 1 : Analyse et simulation de la mobilité des personnes*., sous la direction de Thériault M. et Des Rosiers F., Hermes.

Bertin J., 1980, "Traitements graphiques et mathématiques : différence fondamentale et complémentarité", *Mathématiques et sciences humaines*, t. 72, p. 60-71.

Cauvin C., Reymond H., 1991, "Interaction spatiale et cartographie : les solutions de W. Tobler", *Espace, Populations, Sociétés*, 3, p.467-485.

Escofier B., 1984, "Analyse factorielle en référence à un modèle : application à l'analyse des tableaux d'échanges", *Revue de statist. appl.,* 32, p.25-36.

Lebart L., Piron M., Morineau A. ,2006, *Statistique exploratoire multidimensionnelle : visualisation et inférences en fouilles de données*, Paris, Dunod, 464 p.

Le Foll Y., Burtschy B., 1983, "Représentations optimales des matrices imports-exports". *Revue de statist. appl.*, 31, 3, p 57-72.

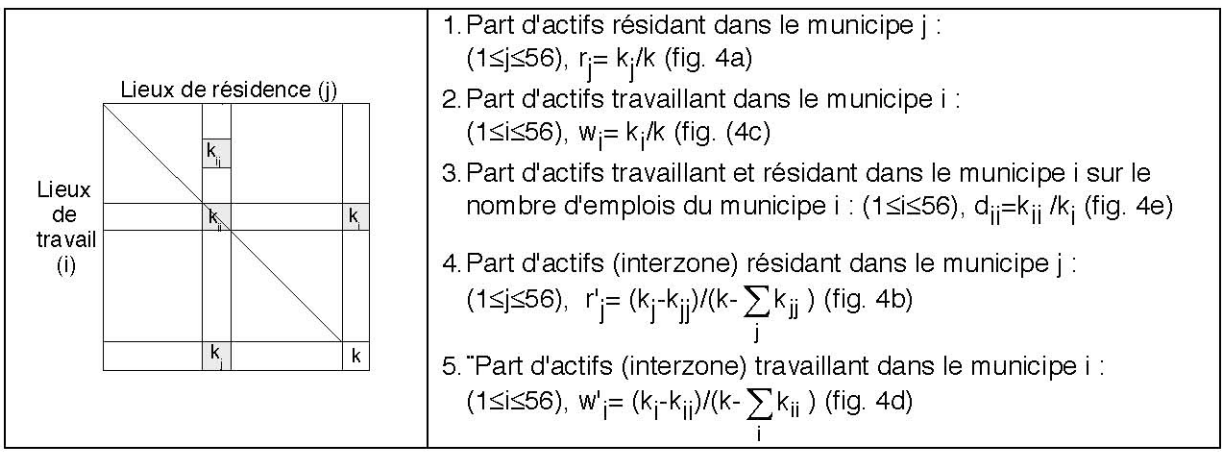
Pumain D., Saint-Julien Th., *Les interactions spatiales (2)*, Paris, Armand Colin , 2001 (Cursus).

Torricelli G., 1997, "Navetteurs en Suisse et en Italie du nord : images des flux et de leurs changements", *Mappemonde*, 4, p. 9-13.

Figure 1 : Carte administrative de la zone métropolitaine de Mexico

		Lieux de residence													
		BENITO	CUAUHT	MIGUEL	VENUST	AZCAPOT	COYOAC	CUAJIM	GUSTAVO	...	ACOLMAN	ATENCO	ATIZAPAN	COACALCO	...
Lieux de travail	BENITO	81418	12403	5321	7092	3777	20547	1572	12226		63	71	1038	1371	
	CUAUHT	24766	140021	16373	32526	18206	26546	3107	53933		400	137	3897	5136	
	MIGUEL	11785	15276	93109	7045	17188	10413	7212	19111		131	49	4957	3526	
	VENUST	3531	6589	1869	89273	2599	5202	555	20553		115	20	315	432	
	AZCAPOT	2140	5591	4480	2735	88529	2607	451	20559		243	81	5353	2700	
	COYOAC	8283	6674	2701	4312	2689	125476	550	8961		122	26	614	880	
	CUAJIM	1197	1317	1718	638	935	1449	35696	1495		0	0	457	172	
	GUSTAVO	2467	7348	2143	7961	7336	3133	597	250726		452	108	3246	3818	
	...														
	ACOLMAN	20	21	0	12	0	0	0	42		11965	241	0	136	
	ATENCO	0	0	0	30	0	0	0	0		96	6565	0	22	
	ATIZAPAN	55	96	118	62	181	20	5	427		7	0	82351	249	
	COACALCO	10	0	57	15	99	71	0	331		95	23	271	35598	
	...														

Figure 2 : Matrice "travail-domicile" initiale



1. Part d'actifs résidant dans le municipe j : $(1 \leq j \leq 56)$, $r_j = k_j/k$ (fig. 4a)
2. Part d'actifs travaillant dans le municipe i : $(1 \leq i \leq 56)$, $w_i = k_i/k$ (fig. (4c)
3. Part d'actifs travaillant et résidant dans le municipe i sur le nombre d'emplois du municipe i : $(1 \leq i \leq 56)$, $d_{ii} = k_{ii}/k_i$ (fig. 4e)
4. Part d'actifs (interzone) résidant dans le municipe j : $(1 \leq j \leq 56)$, $r'_j = (k_j - k_{jj})/(k - \sum_j k_{jj})$ (fig. 4b)
5. "Part d'actifs (interzone) travaillant dans le municipe i : $(1 \leq i \leq 56)$, $w'_i = (k_i - k_{ii})/(k - \sum_i k_{ii})$ (fig. 4d)

Figure 3 : Indicateurs de base

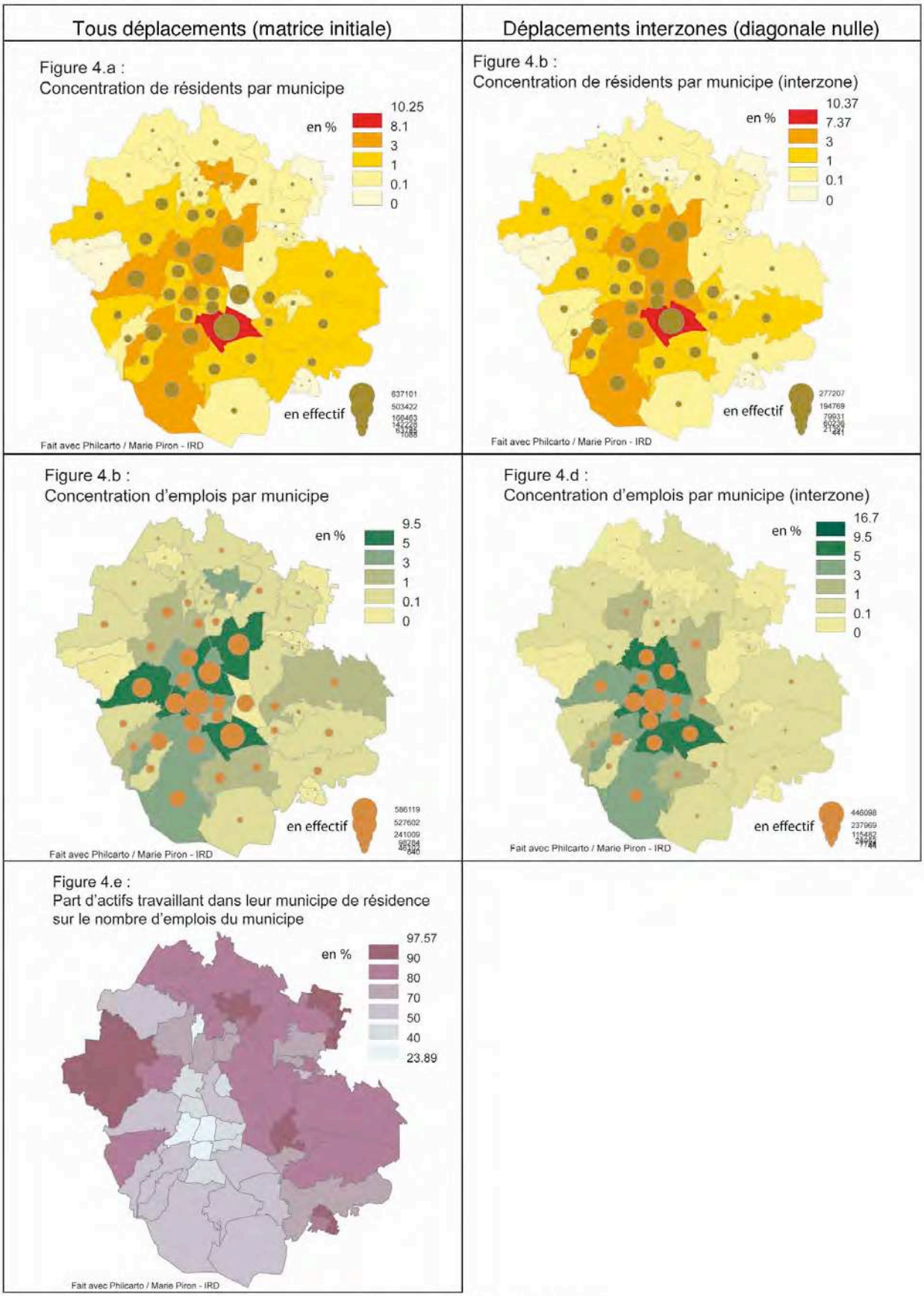


Figure 4 : Indicateurs de base

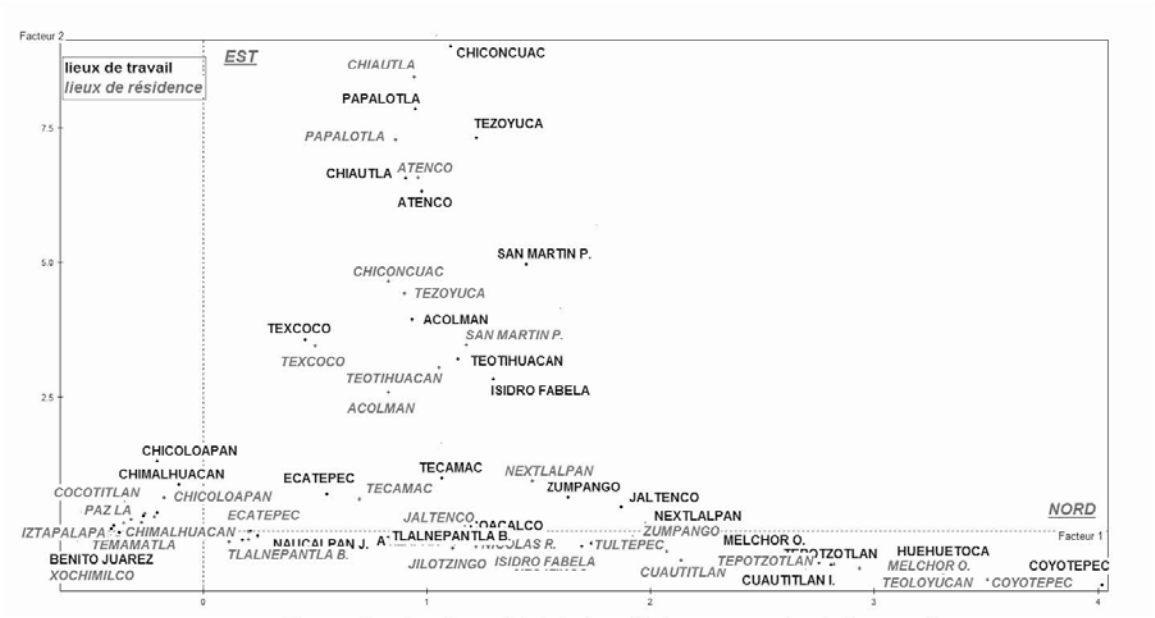


Figure 5 : Plan factoriel 1-2 des déplacements domicile-travail

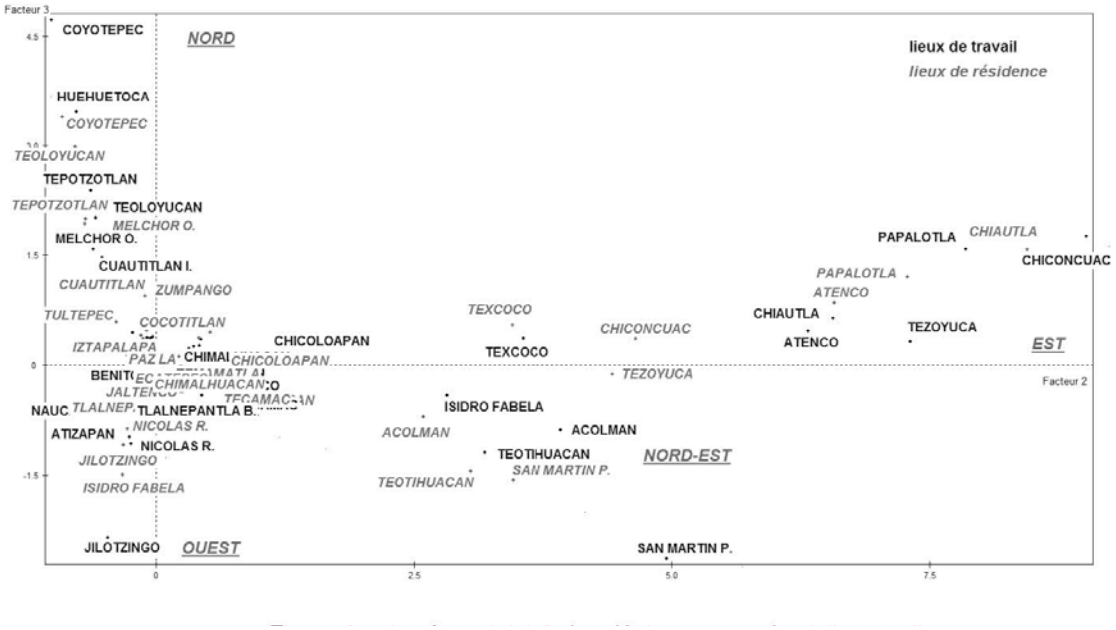


Figure 6 : Plan factoriel 1-3 des déplacements domicile-travail

Municipes d'emploi	Municipes de résidence																												
	TEXCOCO	CHIAUTLA	ATENCO	CHICONCUAC	PAPALOTLA	TEZOYUCA	ACOLMAN	TEOTIHUACAN	ECATEPEC	NEXTLALPAN	SAN MARTIN P.	TECAMAC	COACALCO	TULTITLAN	ZUMPANGO	TLALNEPANTLA	TULTEPEC	TEOLOYUCAN	ATIZAPAN	COYOTEPEC	MELCHOR O.	TEPOTZOTLAN	CUAUTITLAN I.	NEZAHUALCOY.	NICOLAS R.	JILOTZINGO	PAZ LA	CHICOLOAPAN	CHIMALHUACAN
Profil Moyen	*0,4*	*0,1*	*0,2*	*0,0*	*0,0*	*0,1*	*0,3*	*0,1*	*6,6*	*0,1*	*0,0*	*0,6*	*1,8*	*2,6*	*0,3*	*3,8*	*0,7*	*0,4*	*2,7*	*0,2*	*0,2*	*0,3*	*2,3*	*6,7*	*1,4*	*0,1*	*1,2*	*0,4*	*2,5*
TEXCOCO	0,0	9,2	9,8	2,1	1,8	3,9	3,4	1,1	7,4	0,1	0,1	1,2	2,0	2,1	0,4	1,0	0,1	0,0	2,0	0,0	0,1	0,1	1,8	8,3	0,3	0,0	4,0	4,9	6,9
CHIAUTLA	27,2	0,0	15,6	4,5	6,6	18,8	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
ATENCO	32,9	6,9	0,0	12,7	1,0	18,7	11,8	0,7	1,2	0,0	0,0	2,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
CHICONCUAC	36,7	23,0	22,5	0,0	1,5	4,5	2,9	0,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5
PAPALOTLA	71,5	15,0	2,6	7,8	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TEZOYUCA	8,1	13,3	22,8	2,8	0,4	0,0	34,7	2,8	4,1	1,5	1,2	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
ISIDRO FABELA	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	13,6	0,0	0,0	0,0
ACOLMAN	4,1	2,3	7,2	0,8	0,0	12,4	0,0	22,3	20,1	0,0	3,3	2,7	4,1	2,5	0,0	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	2,3	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0
TEOTIHUACAN	5,2	1,1	0,6	0,1	0,0	1,3	30,7	0,0	7,4	0,8	17,4	5,0	2,5	8,4	0,0	1,4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,5	2,1	5,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
SAN MARTIN P.	0,0	1,5	0,0	0,0	0,2	0,9	14,4	72,4	0,0	0,7	0,0	1,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TECAMAC	0,7	0,0	1,0	0,1	0,0	0,6	1,0	10,9	37,1	4,2	1,6	0,0	1,9	3,2	11,8	3,0	0,8	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	1,3	0,6	0,2	0,0	0,6	0,0	0,0
JALTENCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	21,0	2,5	6,3	5,9	29,9	17,6	1,6	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NEXTLALPAN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	24,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ECATEPEC	1,0	0,3	1,2	0,1	0,0	1,2	3,5	1,3	0,0	0,6	0,3	8,7	9,5	7,0	0,9	6,0	1,5	0,0	1,1	0,0	0,1	0,1	2,1	16,3	0,4	0,0	1,7	0,0	1,6
ZUMPANGO	0,4	0,0	0,7	0,3	0,1	0,3	0,9	1,7	5,6	12,4	0,2	29,7	1,0	5,9	0,0	0,8	1,5	6,5	1,3	0,8	2,4	0,0	2,4	2,3	1,4	0,0	1,1	0,0	1,1
TLALNEPANTL	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	11,4	0,0	0,0	0,5	3,9	11,1	0,2	0,0	1,2	0,4	14,2	0,2	0,2	0,4	8,1	11,6	6,9	0,1	1,1	0,3	2,6
CUAUTITLAN I.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,3	3,0	9,8	2,5	8,2	5,7	8,6	9,5	4,3	4,5	9,6	0,0	1,5	4,1	0,0	0,1	0,1	0,1
CUAUTITLAN	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,7	0,0	0,0	0,2	6,6	12,0	3,3	6,4	11,9	8,7	5,5	3,3	6,3	4,3	12,6	0,6	3,7	0,1	0,1	0,1	0,3
...																													

Figure 7a : Profils-lignes de la matrice de flux

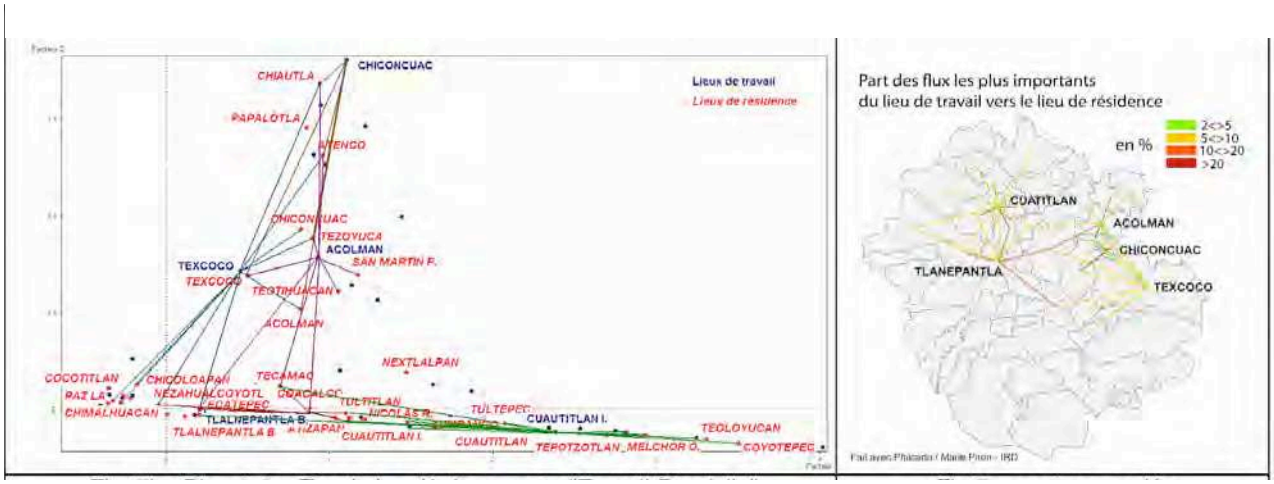
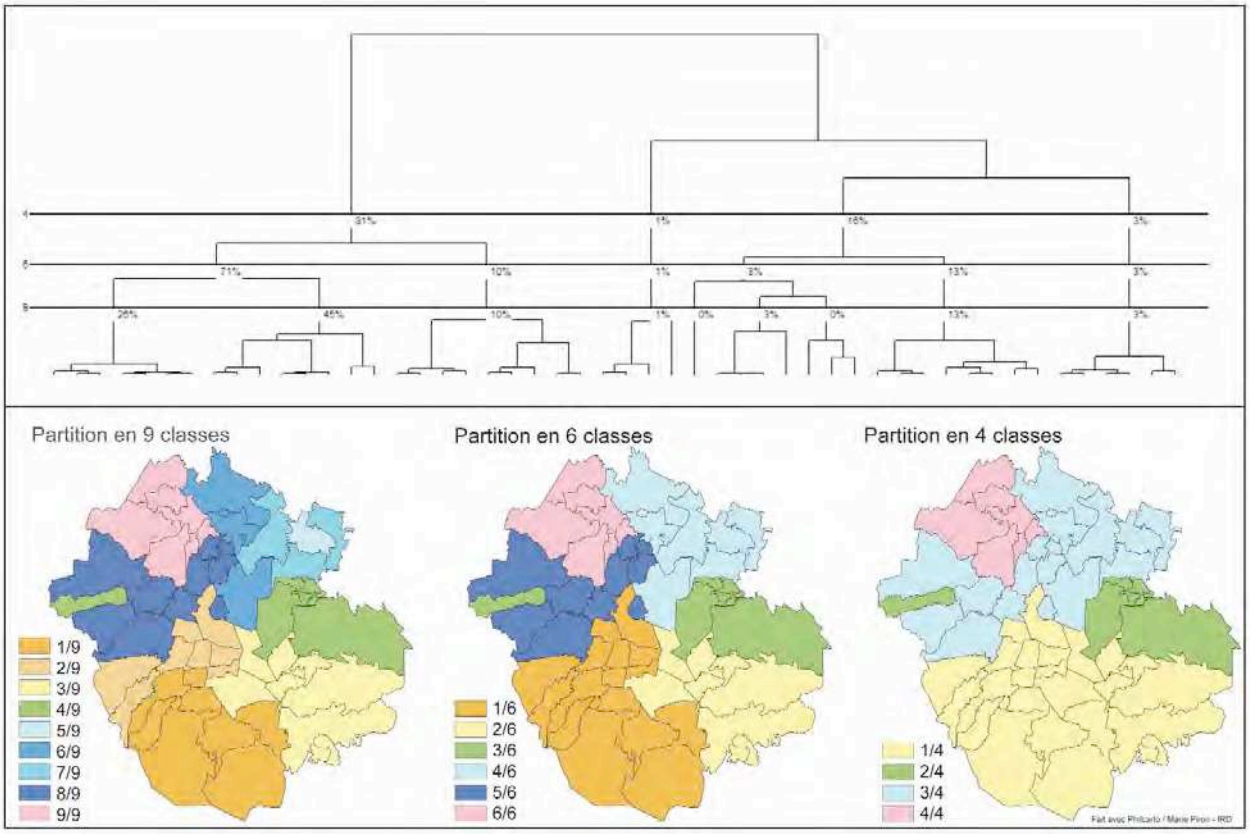


Figure 7b : Plan 1-2 – Tracé des déplacements "Travail-Domicile"

Figure 7 : Démarche exploratoire



Figures 8- 9 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique et cartes associées aux trois partitions

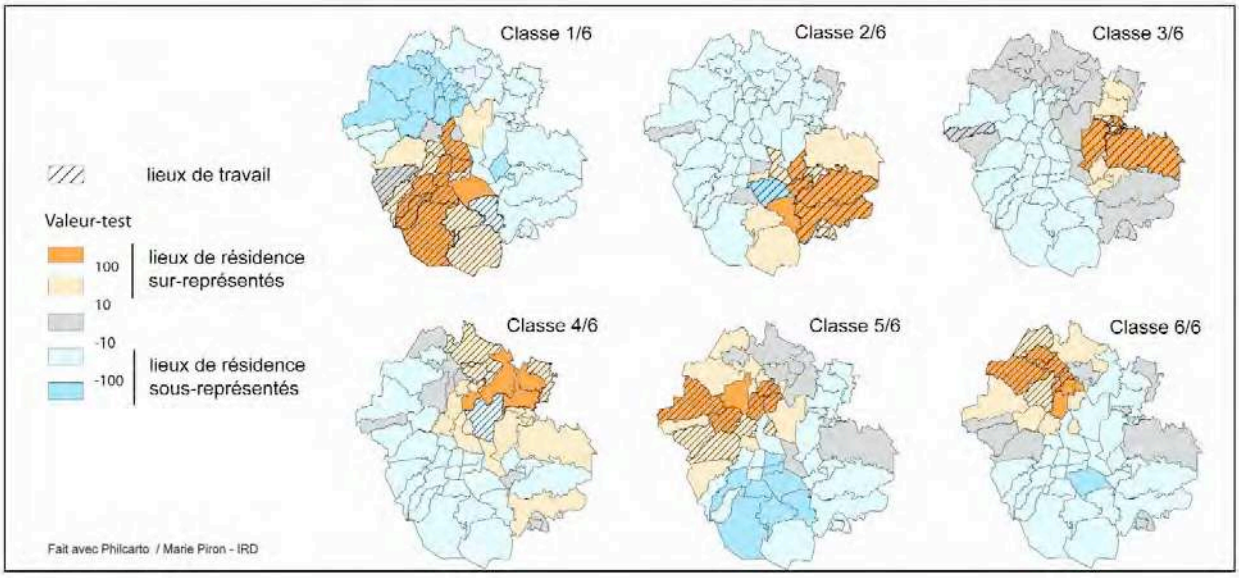


Figure 10 : Caractérisation des classes de lieux de travail par les lieux de résidence

Piron Marie

Exploration et représentation d'une matrice de flux

Le Monde des Cartes, 2010, (203), p. 59-68. ISSN 1634-3522