

# Les territoires, leurs interactions et les polarités

## Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>La polarité</b> . . . . .	<b>48</b>
3.1.1	Le modèle centre/périphérie . . . . .	48
3.1.2	La théorie des lieux centraux . . . . .	50
3.1.3	Le modèle gravitaire . . . . .	53
<b>3.2</b>	<b>La convergence des flux</b> . . . . .	<b>54</b>
3.2.1	Le Pays de Montbéliard : un site multipolaire . . . . .	55
3.2.2	Optimisation à trois niveaux territoriaux . . . . .	55

---

## Introduction

L'étude des interactions entre les territoires est à la base de l'analyse spatiale, sinon de la géographie même. Comprendre ces interactions et déjà simplement les observer, les quantifier peut aider à optimiser le transport de personnes. L'objectif de ce chapitre vise à montrer que les modèles décrivant les interactions territoriales peuvent faire partie intégrante de l'optimisation.

En premier lieu, nous présentons plusieurs modèles existant en géographie et décrivant les interactions entre les lieux de l'espace. Car à travers ces modèles, c'est bien l'idée de flux et d'orientation de ces flux qui nous intéressent pour échaffauder la structure du réseau d'échanges qui préfigure la construction du graphe de tournées que nous présentons dans le chapitre 4. Successivement nous décrivons le modèle centre /

périphérie, les lieux centraux pour terminer sur le modèle gravitaire qui nous intéresse plus particulièrement et qui est la formalisation numérique des interactions spatiales.

Pour conforter notre approche territoriale en TAD, nous nous appuyons sur une configuration concrète, à savoir le Pays de Montbéliard, qui a pour particularité d'être un site multipolaire avec plusieurs villes centres attractives. Nous limitons le territoire du Pays de Montbéliard aux 29 communes de la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard (CAPM), pour laquelle nous disposons d'un ensemble d'informations statistiques et géographiques (populations et découpage territorial).

L'objectif de ce chapitre vise à montrer que les modèles peuvent sous-tendre des représentations formelles du territoire aptes à favoriser l'optimisation du TAD.

### 3.1 La polarité

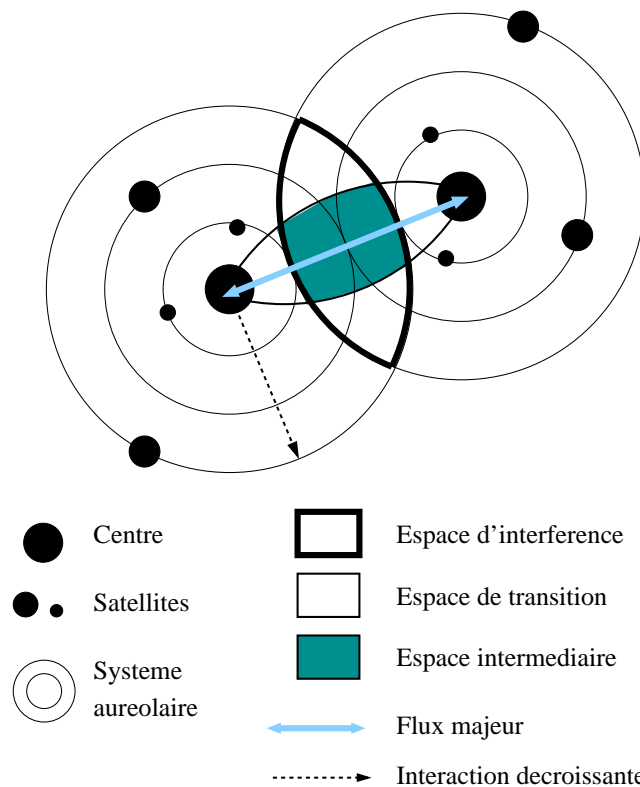
La polarité résulte de la polarisation. Celle-ci traduit « l'attraction d'un lieu, d'un espace, par un pôle » (Brunet *et al.*, 1993), qui « ...attire vers lui l'attention, les clients, les migrations : les régions polarisées le sont par une ville, un lieu central vers lequel *converge* un champ d'attraction. »

La polarité est un principe fondateur en géographie. En témoignent les divers modèles existants tendant à expliquer les échanges dans le monde, ou encore l'organisation spatiale des territoires, des villes et des systèmes de villes. Nous donnons ici une liste non exhaustive de modèles bien connus en géographie (Haggett, 1973; Ferras, 1993; Camagni, 1996; Pumain et Saint-Julien, 1997) qui tentent d'expliquer les interactions à différentes échelles.

Car même s'ils ne sont pas parfaits, ces modèles s'accordent tous sur un point, à savoir que l'espace est polarisé. C'est-à-dire que certains lieux ont la particularité d'attirer davantage que d'autres, ou encore qu'ils ont des fonctions, des aménités ou des attributs plus importants. Ce principe de polarité est fondamental dans la méthodologie de TAD que nous proposons, car il est aux sources des optimisations que nous comptons introduire.

#### 3.1.1 Le modèle centre/périphérie

Utilisée en économie des inégalités de développement (Amin, 1973), cette analogie à la géométrie caractérise « l'opposition entre les deux types fondamentaux de lieux dans un système spatial [...] » (Gataloup, 2004). On parle alors de lieux dominants et



Source Bavoux et al. 2005

FIG. 3.1: Centres, périphéries et espaces intermédiaires

dominés que l'on retrouve à toutes les échelles géographiques. Mais c'est au niveau mondial que le concept prend vraiment sa dimension et notamment dans l'opposition des mondes développé et sous-développé, du Nord et du Sud. Le modèle centre/périphérie décrit les lieux dominants ou gouvernants comme les centres et les lieux subordonnés comme les périphéries.

Des nuances peuvent apparaître dans ce modèle. En effet, au sein même des périphéries, certains lieux peuvent occuper une position centrale et réciproquement certains centres peuvent paraître périphériques en comparaison des centres plus importants. Remis dans le contexte des années 1980, deux centres décisionnaires s'imposent (États-Unis et URSS) et le reste du monde peut sembler périphérique car subissant les volontés des deux super-puissances. Toutefois, des centres secondaires apparaissent et tirent leur épingle du jeu, notamment l'Europe de l'Ouest ou l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

Restreint à une réflexion tiers-mondiste des années 70-80, ce modèle peut être étendu à une véritable analyse des interactions à l'échelle mondiale montrant les liens exis-

tant entre les différentes régions du monde et notamment les déséquilibres dans les flux (biens, personnes, informations...) dont l'orientation peut se faire à sens unique. La notion de périphérie (et sa domination) existe parce que le solde déficitaire de flux se fait au profit du centre dominant. Certains pôles sont donc plus attractifs ou plus conquérants, en ce sens qu'ils orientent les polarités et toute l'organisation des flux de personnes, de biens, de marchandises, voire des informations.

La notion de périphérie reste toutefois assez relative car elle se situe souvent en marge d'une autre zone périphérique liée à un autre centre. Ainsi, le modèle centre-périphérie n'est finalement qu'une introduction à la multi-centralité où il existe des espaces de transition entre chaque centre. Ces transitions consistent les espaces intermédiaires décrits sur la figure 3.1. Le modèle centre/périphérie convient toutefois à la mise en lumière de relations d'inégalités spatiales.

### **3.1.2 La théorie des lieux centraux**

Directement issue des travaux de Christaller (1933) et Lösch (1940), la théorie des lieux centraux établit une hiérarchie entre lieux de peuplement, reposant sur le principe selon lequel certaines unités jouent des rôles spécifiques pour l'ensemble de la communauté. Ainsi, dans une petite unité spatiale telle qu'un village, l'on trouvera aisément une boulangerie et une école, mais seule une unité spatiale de rang supérieur disposera de services tels que l'hypermarché et l'université. Ainsi le modèle christallérien hiérarchise les unités de peuplement en fonction de leurs tailles et de la spécificité des services qu'elles proposent aux unités de rangs inférieurs qui leur sont directement dépendantes.

L'objectif de Christaller était d'expliquer le nombre et la taille des villes ainsi que leurs espacements, en se basant sur des principes de clientèle périphérique et de portée de biens. La clientèle d'un centre regroupe la population susceptible de vouloir disposer des biens ou services de ce même centre. Ainsi la zone concernée est limitée dans l'espace par les coûts de transport à la charge de la clientèle. Cette distance maximale que le consommateur peut supporter est appelée portée d'un bien. Certains services n'existent donc que si la demande est suffisamment importante et atteint le seuil d'apparition de ces services.

De plus, Christaller postule deux propositions :

- les services ayant la même portée sont naturellement regroupés au sein d'un même centre pour des raisons d'économie d'échelle et d'agglomération ;
- les centres de niveau supérieur offrent les mêmes services que les centres de rangs inférieurs.

### Treillis et indice $k$

En lien avec cette vision hiérarchisée des lieux, les réseaux christallériens sont construits sur des treillis. L'indice  $k$  indique le nombre d'unités de peuplement directement desservies par une place centrale. Ainsi les différentes configurations de la figure 3.2 représentent les champs possibles. La règle générale tend à corrélérer le poids démographique des centres et la diversité des services offerts. Bien que concrètement, il y a énormément de fluctuations locales autour de cette règle, la théorie des lieux centraux exprime un principe d'auto-organisation et de hiérarchie entre les lieux de vie.

Reposant sur un espace isotrope, isomorphe où les coûts de transport et de circulation sont identiques, Christaller agence les centres régulièrement de manière hexagonale et expose plusieurs principes d'organisation modifiant la configuration spatiale des centres en supposant que la population à desservir est uniformément répartie :

- le principe de marché qui repose sur un principe d'équité spatiale qui maximise les chances d'accès au centre. C'est le cas lorsque la clientèle est partagée entre trois centres, i.e. trois centres de rang supérieur sont disposés aux sommets d'un triangle équilatéral dont le centre géométrique correspond à l'unité spatiale partagée. L'indice  $k$  vaut 3, c'est-à-dire le centre lui-même plus  $1/3$  des centres concernés :  $k = 1 + 3 \times 1/3 = 3$ , cf. figure 3.2(a) ;
- le principe de transport consistant à réduire les coûts nécessaires pour assurer la desserte des centres, étant donné que les pôles de rang inférieur ne sont pas situés sur les axes reliant ceux de rang supérieur. Ainsi, si on déplace ces premiers jusqu'aux axes de communication, on détériore légèrement l'accessibilité des clients au centre, mais on améliore le transport, dans ce cas  $k = 1 + 6 \times 1/2 = 4$  (cf. figure 3.2(b)), c'est-à-dire que chacun des six centres dépend de deux centres de rang supérieur ;
- le principe d'administration selon lequel la clientèle ne peut être partagée entre différents centres de rang supérieur mais doit au contraire parfaitement s'incorporer dans une circonscription. La figure 3.2(c) représente les six centres plus le centre administratif de rang supérieur :  $k = 6 \times 1 + 1 = 7$ .

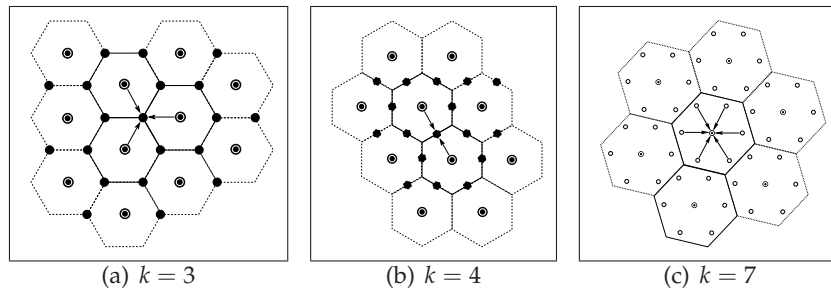


FIG. 3.2: Les quatre plus petits territoires hexagonaux d'un paysage, source : Haggett (1973) d'après Lösch (1954)

### Limites de la théorie

Les observations menées par Christaller lui-même pour l'Allemagne méridionale (Christaller, 1933) ou d'autres dans des urbanisations plus récentes comme en Amérique du Sud ont montré que le nombre de petits centres est généralement bien moindre que ne le laissait présager la théorie.

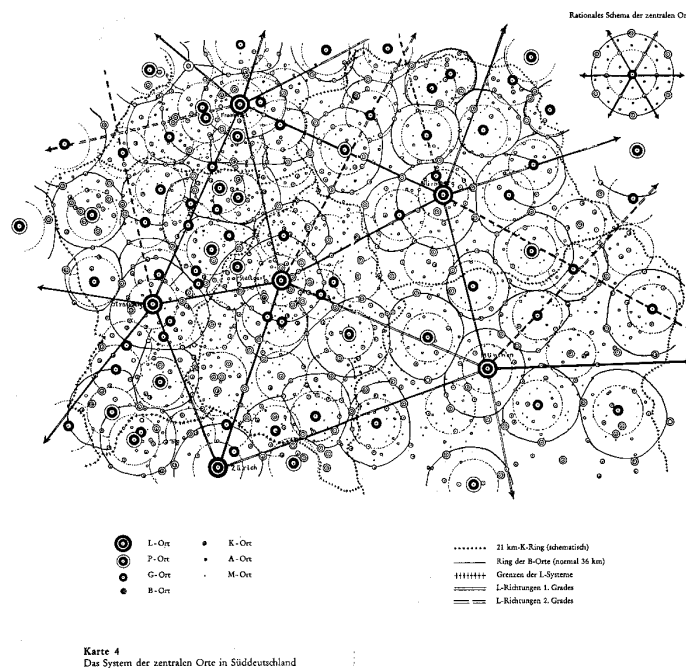


FIG. 3.3: Analyse des lieux centraux en Allemagne méridionale de Walter Christaller (1933)

De plus, à une échelle plus fine, en intra-urbain, le modèle christallérien doit subir plusieurs modifications, car initialement adapté pour une uniformité de taille hexagonale, le modèle doit être revu selon les densités de population. Là où celles-ci sont

fortes, les hexagones doivent être plus petits et plus resserrés, alors qu'à l'inverse, les hexagones des zones périphériques sont plus grands et plus espacés. Cette hypothèse est encore à nuancer, car le centre de niveau supérieur est souvent le quartier d'affaires tandis que les centres de niveau secondaire se situent en périphérie des villes, au carrefour des principaux axes de communication.

De plus, les distances prises en compte sont somme toute très relatives. L'impact de la distance il y a cent ans était bien plus fort qu'aujourd'hui. Ainsi l'évolution des moyens de transport tend à affaiblir les positions des petits centres au bénéfice des plus grands, car ceux-ci sont accessibles beaucoup plus rapidement et leurs positions hiérarchiques s'en trouvent renforcées. En outre, la spécialisation des villes intervient également dans le niveau d'équipement qu'elles requièrent et donc dans l'évolution de leur hiérarchie.

### 3.1.3 Le modèle gravitaire

Ce modèle s'inspire directement des sciences physiques, où le principe d'interaction traduit l'influence réciproque s'établissant entre deux objets ou plus.

D'après la loi de l'interaction gravitationnelle établie par Newton, deux corps  $A$  et  $B$  distants de  $\delta_{AB}$ , et respectivement de masses  $M_A$  et  $M_B$ , s'attirent l'un et l'autre selon une interaction  $I_{AB}$  correspondant au produit de leurs masses inversement proportionnel au carré de leur distance. Ainsi le corps  $A$  exerce une force  $\vec{F}_{AB}$  sur le corps  $B$  :

$$\vec{F}_{AB} = G \frac{M_A M_B}{\delta_{AB}^2} \vec{u}_{AB} \quad (3.1)$$

$G$  est la constante gravitationnelle<sup>1</sup> et  $\vec{u}_{AB}$  est le vecteur unitaire dirigé du corps  $A$  vers le corps  $B$  ( $A$  est attiré par  $B$ ).

Rapportée à l'analyse spatiale et adaptée aux mouvements de population, Reilly (1929) en déduit la formule 3.2 prenant en compte les populations  $P_A$  et  $P_B$  des villes  $A$  et  $B$  en lieux et places des variables  $M_A$  et  $M_B$  :

$$I_{AB} = \frac{P_A P_B}{\delta_{AB}^2} \quad (3.2)$$

<sup>1</sup> $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$  (ou  $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ )

Zipf (1949) et Stewart (1950), en étudiant d'autres phénomènes d'interactions, comme le trafic de fret ou les migrations, ont produit la variante 3.3 :

$$I_{AB} = \frac{P_A P_B}{\delta_{AB}^1} \quad (3.3)$$

Hägerstrand (1957) analyse la différence d'exposant (1 et 2) dans les interactions pour en conclure que les villes nord-américaines plus développées (dans les années 50) ont une « friction » moins forte que dans les villes européennes où la friction s'élève à 2. Cette différence relève du décalage existant dans le développement des deux continents traduisant des gradients de mouvement plus forts dans les villes européennes.

En généralisant encore le modèle à d'autres disciplines comme l'économie (Camagni, 1996), on peut généraliser le modèle gravitaire pour obtenir la formule 3.4 :

$$I_{AB} = K \frac{P_A^\alpha P_B^\beta}{\delta_{AB}^\gamma} \quad (3.4)$$

Les exposants  $\alpha$  et  $\beta$  peuvent avoir une influence énorme sur l'action d'une ville sur l'autre et dans les migrations qu'elle peut susciter.  $\alpha$  marque la capacité de la ville à *émettre* des flux, tandis que  $\beta$  représente la capacité à recevoir. L'exposant  $\gamma$  indique quant à lui la friction de l'espace physique sur le mouvement. La distance séparant deux lieux d'une même ville (un quartier résidentiel et une zone commerciale) est sujette à une très forte friction due aux contraintes de déplacement intra-urbain ( $\gamma > 1$ ), alors que la friction subie par la distance dans le cas d'échanges inter-continentaux est neutre voire faible ( $\gamma \leq 1$ ).  $K$  est une constante d'ajustement du modèle. Chaque ville  $v$  a donc des capacités d'émission et de réception propres définies par le couple  $(\alpha_v, \beta_v)$ .

## 3.2 La convergence des flux

La polarité hiérarchise le territoire et établit des structures de flux entre différents lieux de ce même territoire, qui est par essence non isomorphe et anisotrope. Ainsi différents lieux auront des comportements différents. Certains vont émettre des flux, d'autres en recevoir, et d'autres encore auront cette double particularité d'émettre et recevoir en même temps. Ces flux ne circulent bien évidemment pas de manière chao-



tique et on peut constater empiriquement que certains d'entre eux partagent les mêmes destinations. Fort de cette hypothèse, nous développons des méthodes d'optimisation basées sur la convergence des flux que nous allons appliquer au territoire du Pays de Montbéliard. Parmi les différentes théories et approches évoquées, nous conservons celle du modèle gravitaire pour la génération des flux probables, ainsi que l'idée de hiérarchie, que nous retrouvons dans les échelles considérées pour l'optimisation.

### 3.2.1 Le Pays de Montbéliard : un site multipolaire

Montbéliard (Doubs, 25) et son agglomération sont notre site d'étude (fig. 3.4). Sur la carte sont affichées les populations des 29 communes de la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard (CAPM), et l'on observe que trois d'entre elles (Montbéliard, Audincourt et Valentigney) se démarquent plus nettement des autres. Ces communes sont effectivement les plus importantes en terme de population et concentrent les plus grandes activités de ce territoire. Sochaux joue également un rôle majeur dans la polarisation en raison des migrations pendulaires que la très forte activité industrielle des usines PSA suscite. Le Pays de Montbéliard est donc un site multipolaire.

Évidemment les échanges ne se limitent pas aux frontières de la CAPM, les usines automobiles PSA, situées à cheval sur Montbéliard et Sochaux, font converger un peu plus de 13 000 employés (chiffres 2006) qui viennent de tout le territoire de la CAPM (127 000 habitants), mais également de départements limitrophes comme le Territoire de Belfort (90) ou encore la Haute-Saône (70). Néanmoins, pour développer notre méthode d'optimisation, nous nous limitons notre zone de test à la CAPM et ses 29 communes.

### 3.2.2 Optimisation à trois niveaux territoriaux

Le niveau d'échelle du support territorial a-t-il une influence sur la qualité du service fourni au client ? C'est une question à laquelle nous nous proposons de répondre dans cette thèse à travers les trois échelles successives présentées ci-après, chacune correspondant à un niveau croissant de découpage territorial, qui sera partie intégrante de l'optimisation de DARP que nous présentons au chapitre 6.

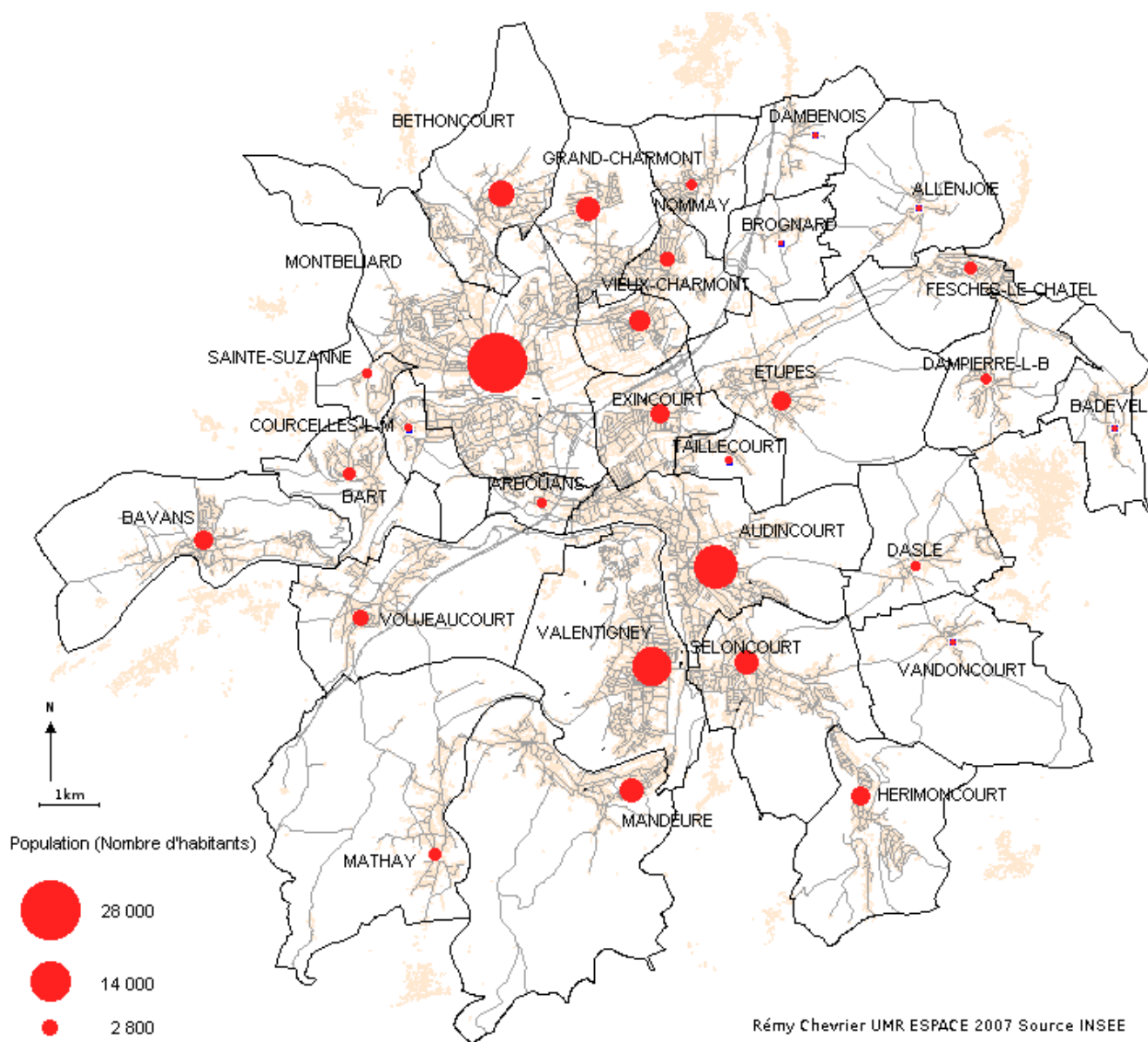


FIG. 3.4: Les 29 communes de la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard et leurs populations

### Le point, ou l'arrêt localisé

Le premier niveau, à la plus grande échelle, est élémentaire car il s'agit du point. Dans le cadre de notre étude, il correspond à l'un des 529 arrêts de la Compagnie de Transport du Pays de Montbéliard (CTPM, fig. 3.5). Les demandes des clients étant exprimées « arrêt à arrêt », ces points constituent les sommets des différents graphes qui sont établis à travers les méthodes d'optimisation que nous explicitons dans le chapitre 6. La question est ici de constater (ou non) l'influence de la granularité spatiale sur la définition du graphe et, par voie de conséquence, sur l'expression des solutions de tournées des véhicules du TAD.

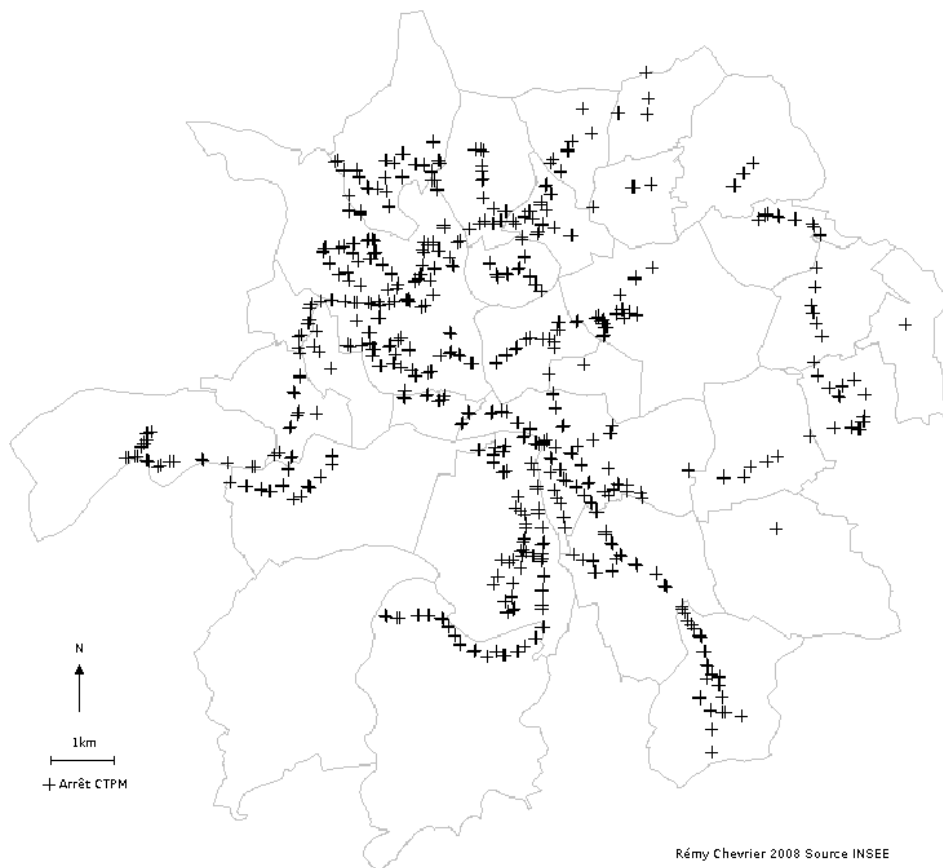


FIG. 3.5: Les 529 arrêts de la Compagnie de Transport du Pays de Montbéliard

### L'îlot regroupé pour l'information statistique (IRIS)

Le deuxième niveau consiste à évaluer les requêtes à l'échelle de l'îlot regroupé pour l'information statistique (IRIS) qui sont des unités statistiques formulées par l'INSEE, regroupant au maximum 5000 individus : « les IRIS sont les briques de base en matière de diffusion de données locales. La France en compte environ 50 800 (50 100 en métropole et 700 dans les DOM). L'IRIS correspond à :

- l'IRIS-2000 pour toutes les communes urbaines d'au moins 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 (16 000 IRIS-2000 en France, dont 15 400 en métropole) ;
- la commune pour les petites communes non découpées (34 800 communes). »<sup>2</sup>

La CAPM compte 69 IRIS représentés sur la carte de la figure 3.6. Le centre de chaque IRIS est défini par un centroïde.

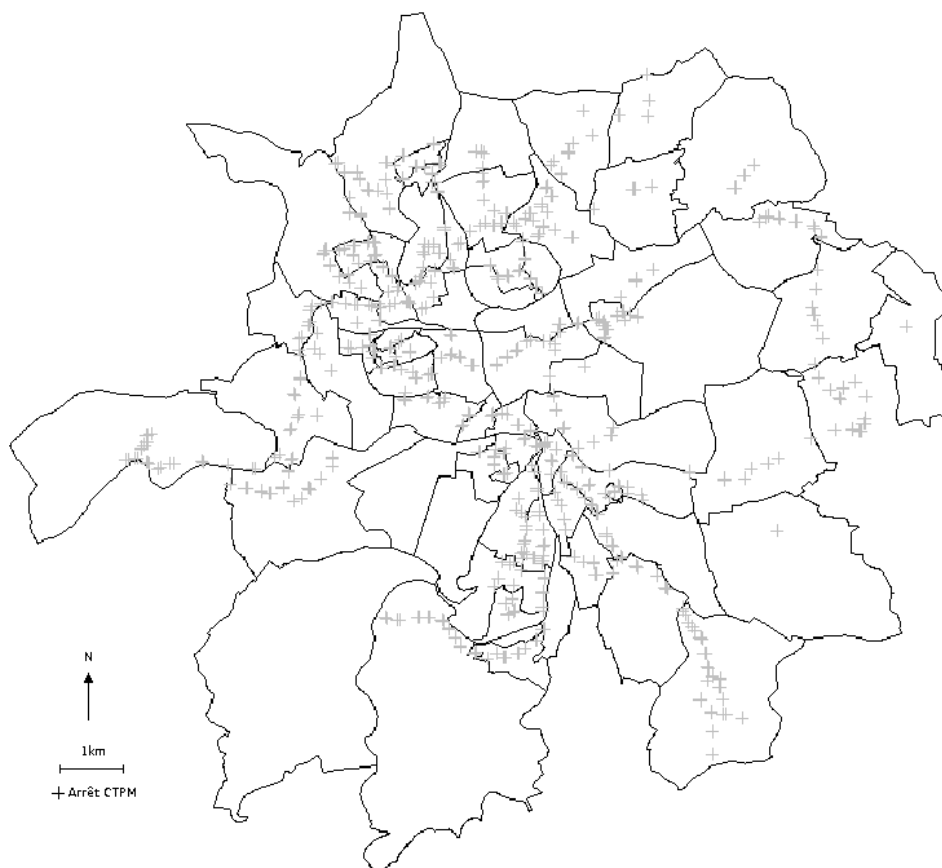


FIG. 3.6: Les 69 îlots IRIS de la CAPM

<sup>2</sup>Définition de l'IRIS formulée par l'INSEE, vue sur [http://www.insee.fr/fr/nom\\_def\\_met/definitions/html/ilots-regr-pour-inf-stat.htm](http://www.insee.fr/fr/nom_def_met/definitions/html/ilots-regr-pour-inf-stat.htm)

### La commune

Le troisième niveau, celui de la commune, correspond à l'agrégation des IRIS. Ainsi, les communes peu peuplées correspondent souvent elles-mêmes à un IRIS. Dans le cas de la CAPM, seules les communes de Montbéliard, Audincourt et Valentigney agrègent au moins une dizaine d'IRIS. Ce sont ces communes qui génèrent naturellement le plus de flux de personnes, en raison des populations certes, mais aussi parce qu'elles concentrent l'ensemble des activités industrielles et de service. À l'instar des IRIS, le centre de chaque commune est défini par un centroïde.

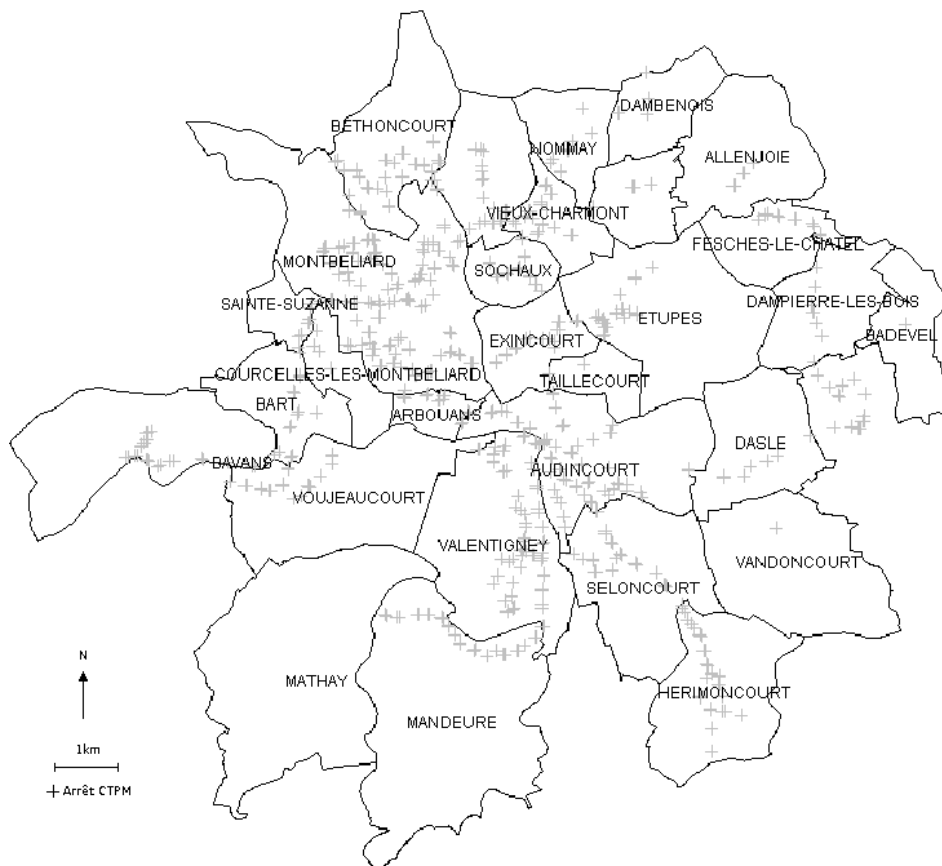


FIG. 3.7: Les 29 communes de la CAPM

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu un ensemble de modèles géographiques et économiques, décrivant les interactions spatiales. Qu'ils soient descriptifs (centre/périphérie) ou détaillés (lieux centraux, modèle gravitaire), ils s'accordent tous sur le fait que l'espace est polarisé, anisotrope et non-isomorphe.

Cette évidence en géographie, déjà formalisée et très utilisée de façon pragmatique par les opérateurs de transport, reste peu ou prou considérée en optimisation de transport, alors qu'elle permettrait de prévoir les grandes tendances de déplacement, voire d'anticiper les positionnements des véhicules avec des capacités adaptées (ce dernier point n'étant pas traité ici).

Le modèle gravitaire ainsi que l'idée de hiérarchie spatiale sont mis à contribution pour générer des instances de transport réalistes représentatives des déplacements sur le Pays de Montbéliard. Les instances produites nous permettent de simuler des TAD et les résultats de ces simulations sont analysés dans la troisième partie de cet ouvrage.

De plus, la mise en évidence de la polarité du territoire, que nous avons exposée par le biais de ces modèles géographiques et économiques, nous amène à considérer les flux de personnes ou de fret sur des territoires polarisés et en conséquence à tenir compte de cette configuration spatiale pour construire les tournées de véhicules.

# Conclusion de la première partie

Au cours de cette première partie, nous avons examiné plusieurs points. D'abord nous nous sommes intéressés au contexte dans lequel vient s'inscrire le TAD, du point de vue sociétal comme du point de vue économique. Nous nous sommes ensuite penchés dans le deuxième chapitre sur l'approche à adopter pour développer une méthode d'optimisation de TAD. Nous avons terminé, dans le troisième chapitre, sur un rappel des propriétés géographiques d'un territoire, que sont la polarité et les échelles.

Les problèmes suscités par les transports en commun actuels et les besoins en mobilité militent en faveur du déploiement de transports flexibles capables de concurrencer l'automobile. En effet, contrairement aux transports en commun classiques, le TAD reste une alternative en mesure de répondre à ces besoins et ce, à des coûts rationalisés. De plus, dans le contexte écologique délicat dans lequel les sociétés du 21ème siècle vont devoir évoluer, le TAD peut contribuer à réduire les émissions de polluants par sa rationalisation des temps de parcours et par le fait qu'il ne roule jamais à vide contrairement aux véhicules des habituelles lignes de transport « lourd ».

Cependant cette flexibilité spatiale et/ou temporelle et la rationalisation des coûts économiques des services de TAD requièrent d'une part des technologies de positionnement (GPS, Galileo) et de communication (GPRS, UMTS, WiFi...) et d'autre part de méthodes d'optimisation de tournées performantes. Grâce à ces technologies, il est possible désormais de faciliter les regroupements des passagers tout en maintenant une bonne qualité de service à l'utilisateur, en minimisant les temps de parcours et les retards. Les AOT également y trouvent leur compte en réduisant leurs coûts, qu'ils soient en masse salariale (chauffeurs), en carburant, ou sur une hypothétique future taxe carbone.

Ces objectifs à atteindre sont bien souvent antagonistes et nécessitent une optimisation informatique visant à satisfaire chacun d'eux autant que possible (temps de parcours, délais et véhicules requis). À cette fin, la recherche opérationnelle fournit un ensemble de méthodes que la nôtre vient compléter par son caractère territorial. L'éla-

laboration de cette méthode s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire (informatique et géographie).

Les éléments géographiques introduits caractérisent la notion de polarité qui anime l'espace géographique, support des flux qui y circulent. La prise en compte du caractère structuré des flux permet d'optimiser en amont la desserte. De plus, cette structure fait elle-même émerger une hiérarchie parmi ces flux à travers les échelles. Aussi, la suite des travaux présentés dans cette thèse se base sur la polarité pour mettre au point les méthodes d'optimisation ainsi que la génération d'instances de transport réalistes, comme bases à nos simulations de tests et validation.