

# **DIAGNOSTIC DE LA DEMANDE**

Projet planification de transports urbains à Santiago du Chili

Extrait du Rendu intermédiaire – UB02 – UTC - A2020

CARBONARI Paula

LATORRE Juliette

LHERM-SOULAS Victor

TANGRE Laure

## REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier chaleureusement Griselda Ahumada qui nous a énormément apporté dans la recherche des données de notre projet et leur exploitation. Ce projet n'aurait pas été possible sans son aide. Merci à elle pour sa disponibilité, sa passion pour la géomatique et son immense bienveillance !

Merci également à notre professeur Hipolito Martell qui nous a suivi tout au long de notre avancée en apportant son regard expert sur le thème des transports.

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	Erreur ! Signet non défini.
DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	Erreur ! Signet non défini.
Topographie du lieu	Erreur ! Signet non défini.
Risques naturels	Erreur ! Signet non défini.
DONNÉES ADMINISTRATIVES	Erreur ! Signet non défini.
Frontières communales	Erreur ! Signet non défini.
Plan Local d'Urbanisme	Erreur ! Signet non défini.
DONNÉES SUR LA POPULATION	Erreur ! Signet non défini.
Densité de population	Erreur ! Signet non défini.
Indicateurs sociaux	Erreur ! Signet non défini.
Inégalités Sociales - Évènements d'Octobre 2019 :	Erreur ! Signet non défini.
FONCTIONS URBAINES	Erreur ! Signet non défini.
Bassins d'emploi et logements	Erreur ! Signet non défini.
Santé et éducation	Erreur ! Signet non défini.
INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS EXTRA-URBAINS	Erreur ! Signet non défini.
Transport aérien - Aéroport Arturo Merino Benitez	Erreur ! Signet non défini.
Transport ferroviaire - Gare ( <i>Estacion</i> ) Central	Erreur ! Signet non défini.
Bus interurbain - Terminaux de bus	Erreur ! Signet non défini.
DIAGNOSTIC DE L'OFFRE : LES RÉSEAUX DE TRANSPORT URBAIN	Erreur ! Signet non défini.
Système de métro	Erreur ! Signet non défini.
Système de bus	Erreur ! Signet non défini.
Metrotren Nos	Erreur ! Signet non défini.
Prix du billet	Erreur ! Signet non défini.
Grands projets de transport prévus	Erreur ! Signet non défini.
<b>DIAGNOSTIC DE LA DEMANDE</b>	<b>3</b>
Les flux universitaires	3
Les flux de santé	5
Les flux d'activité	6
Les migrations pendulaires professionnelles	9
Précautions à prendre dans l'interprétation du diagnostic de la demande	12
<b>PROPOSITIONS</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## DIAGNOSTIC DE LA DEMANDE

Pour étudier la demande en transports dans la métropole de Santiago, on cherche à en représenter les flux principaux. Pour cela, nous choisissons de les calculer avec la **méthode gravitaire**, car c'est une méthode fiable et réalisable avec les données à disposition. Quatre types de flux sont calculés. Les **flux liés à l'éducation**, les **flux liés à la santé**, les **flux liés aux activités essentielles** (hors travail) et les **flux pendulaires** liés à l'activité professionnelle.

Tous sont calculés à l'échelle de l'agglomération. Les points de départ des flux sont les centres de gravité des communes, auxquels s'appliquent la population totale de la commune. Ce découpage est supposé pertinent, car la densité de population et les classes socio-économiques sont relativement homogènes au sein des communes. C'est d'autre part un choix pratique, car ce découpage est préexistant et structure les données dont nous disposons. Les flux d'éducation et de santé se dirigent de chaque commune jusqu'à des zones d'attractivité ponctuelles (universités et hôpitaux), et les flux d'activité et de travail sont calculés de commune à commune.

### Les flux universitaires

Comme on travaille à l'échelle de la métropole, on choisit de réduire les flux liés à l'éducation aux flux universitaires, car les déplacements des étudiants de cycle primaire sont très localisés autour de leur domicile. En effet, les établissements publics et privés sont répartis en suivant la répartition socio-démographique de la population, et l'ensemble du territoire est correctement desservi par des établissements de premier cycle et de petite enfance.

On calcule donc les flux d'étudiants quotidiens partant de chaque commune et se rendant dans les principaux centres universitaires. Les centres universitaires et leurs coordonnées sont déterminés dans ArcGis, parfois en regroupant plusieurs universités très proches géographiquement, et un coefficient de granulosité  $k$  pouvant prendre les valeurs 1, 0,9, 0,6 et 0,4 est déterminé arbitrairement pour chaque commune, pour traduire les difficultés d'accès à l'éducation supérieure des populations les plus démunies.

En utilisant les formules suivantes, on vérifie bien que la somme de tous les flux universitaires est bien égale au nombre d'étudiants de l'agglomération :

$$fi_{od} = k_o * \frac{Pop_o * NbE_d}{d_{od}^2}$$

$$FI_{od} = \frac{fi_{od}}{\sum fi_d} * NbE_d$$

$fi_{od}$  = flux théorique (sans unité) partant de l'origine  $o$  et arrivant à  $d$  quotidiennement

$k_o$  = coeff de granulosité, traduisant la difficulté des pop à bas revenu à accéder aux universités

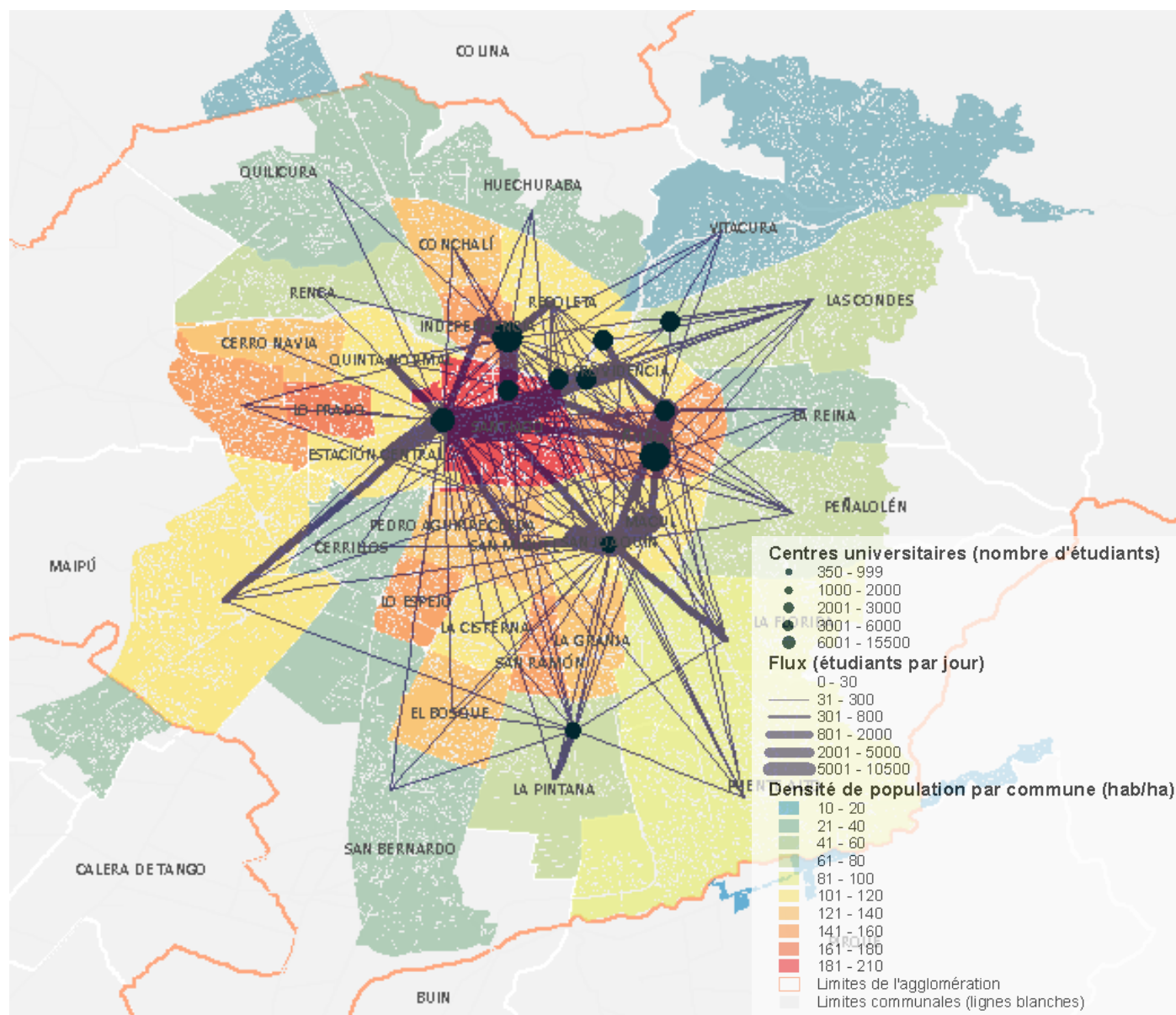
$Pop_o$  = population de l'origine

$NbE_d$  = nombres d'étudiants dans le supérieur de la destination

$FI_{od}$  = nombre d'étudiants effectuant le trajet quotidien de  $o$  vers  $d$

$\sum fi_d$  = somme des flux théoriques arrivant à la destination  $d$

## Carte des flux communes - centres universitaires quotidiens



Source : Propre auteur utilisant Arcgis

On observe sur cette carte de flux que les centres universitaires sont **rassemblés autour de la commune de Santiago**, au cœur de l'agglomération, à l'exception d'une université située dans la commune La Pinata, attirant des populations défavorisées locales. Cette répartition entraîne des flux en étoile dirigés vers le centre de l'agglomération, notamment depuis les communes de Maipú (à l'ouest) et de La Florida (à l'est), qui ont des populations de classe moyenne basse à haute. Les flux les plus importants, de l'ordre de 10 000 étudiants par jour, se concentrent néanmoins dans la commune de Santiago et dans ses communes limitrophes, qui sont déjà bien desservies par le réseau de métro.

## Les flux de santé

Pour des raisons similaires aux flux universitaires, on choisit de ne prendre en compte que les **flux allant vers les hôpitaux publics**. Les hôpitaux sont regroupés en groupes hospitaliers de la même manière que les universités, et leur attractivité est déterminée par le nombre de patients mensuel divisé par 30, pour obtenir un nombre de patients moyen par jour. Les hôpitaux publics étant jugés plus accessibles que les universités, on détermine des valeurs de  $k$  moins contrastées :  $k=\{1; 0,9; 0,7; 0,5\}$ . On utilise des formules similaires :

$$fi_{od} = k_o * \frac{Pop_o * NbP_d}{d_{od}^2}$$

$$FI_{od} = \frac{fi_{od}}{\sum fi_d} * NbP_d$$

$fi_{od}$  = flux théorique (sans unité) partant de l'origine  $o$  et arrivant à  $d$  quotidiennement

$k_o$  = coeff de granulosité, traduisant la difficulté des pop à bas revenu à accéder aux soins

$Pop_o$  = population de l'origine

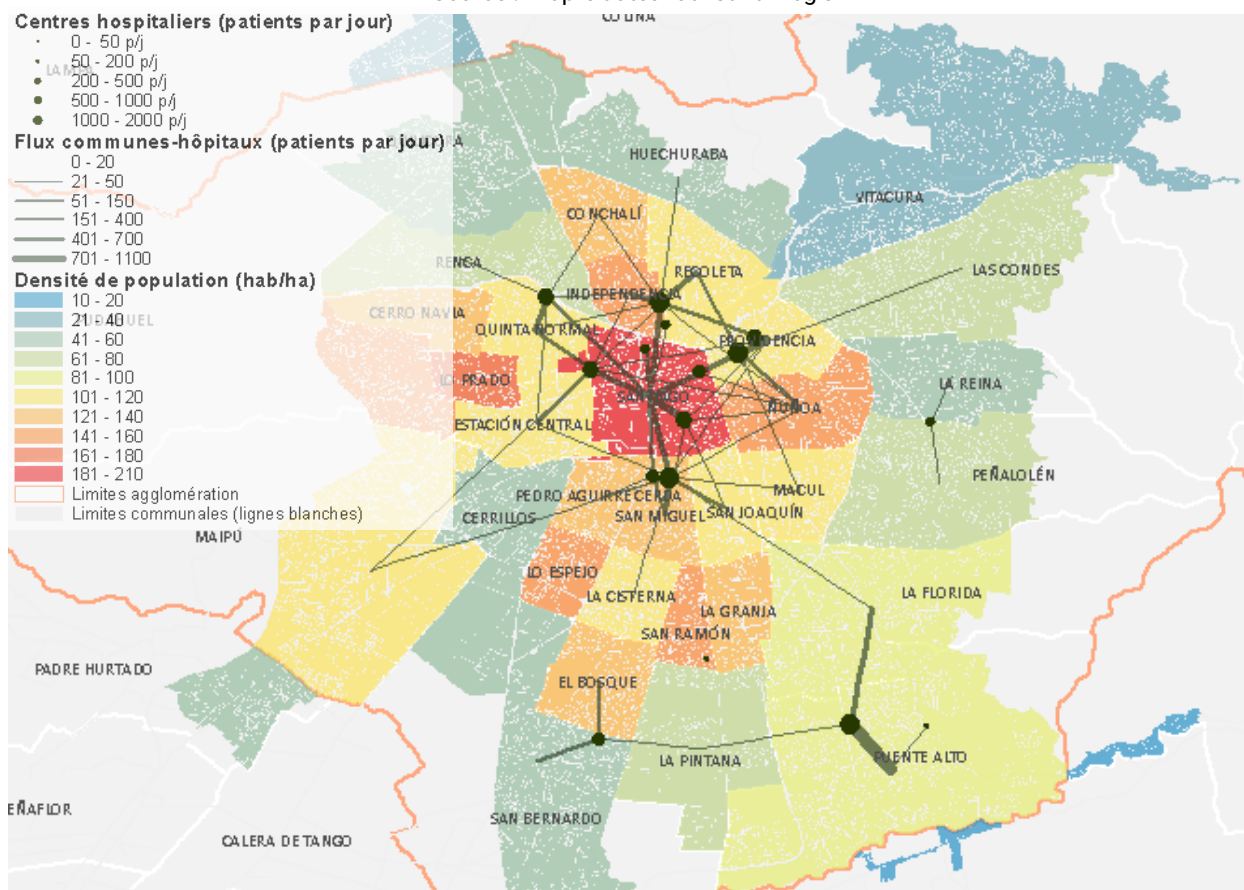
$NbP$  = nombres de patients quotidien moyen se rendant à la destination

$FI_{od}$  = nombre de patients moyen effectuant le trajet quotidien de  $o$  vers  $d$

$\sum fi_d$  = somme des flux théoriques arrivant à la destination  $d$

### Carte des flux communes - centres hospitaliers quotidiens

Source : Propre auteur utilisant Arcgis



Source : Propre auteur utilisant Arcgis

Les flux de santé les plus importants partent logiquement des communes les plus peuplées, et se dirigent majoritairement dans les hôpitaux du centre. On retrouve des flux des communes de Maipu et de La Florida vers le centre, comme pour les universités. Quelques hôpitaux importants sont notables dans la grande couronne de l'agglomération, en particulier le centre hospitalier de Puente Alto qui attire des populations de tout le quart sud-est de l'agglomération. Néanmoins, les flux quotidiens liés à la santé sont très faibles, de l'ordre de 1000 personnes par jour au maximum. **Ces flux sont négligeables** devant les autres à l'échelle de la métropole. Les hôpitaux n'en restent pas moins des lieux nécessaires à bien desservir, mais sans besoin de grande capacité.

## Les flux d'activité

On nomme "flux d'activités", les flux liés aux **activités considérées massives et nécessaires**, non professionnelles. On en considère trois types :

- Les achats alimentaires (marchés et supermarchés)
- Autres achats (centres commerciaux et zones de petits commerces)
- Les pratiques religieuses chrétiennes (lieux de culte)

La première catégorie est simplement nécessaire pour toute la population. La deuxième, n'est pas nécessaire à proprement parler, mais la virée au *mall* (centre commercial) est une pratique ancrée dans la culture chilienne, très consumériste, et cela génère des flux importants, dont on doit tenir compte. Les lieux de culte, quant à eux, ont été sélectionnés car plus de 80% de la population de Santiago est chrétienne, et parmi eux, environ 50% sont pratiquants. Cette population représente des flux hebdomadaires non négligeables.

Pour prendre en compte ces activités et les pondérer, on calcule un score d'attractivité communal en fonction des lieux d'intérêt de chaque commune, comme suit :

$$Score_d = P_{alim} * Nb_{d-alim} + P_{ccial} * Nb_{d-ccial} + P_{culte} * Nb_{d-culte} + \frac{S_{d-com}}{S_d} * c_1 + Pop_d * c_2$$

$Score_d$  = score d'attractivité de la commune destination

$Nb_{d-alim}$  = nombre de lieux d'achats alimentaires dans la commune de destination

$P_{alim} = 13,91$  = poids d'un point d'achats alimentaires

$Nb_{d-ccial}$  = nombre de centres commerciaux dans la commune de destination

$P_{ccial} = 9,27$  = poids d'un centre commercial

$Nb_{d-culte}$  = nombre de lieux de culte dans la commune de destination

$P_{culte} = 6,39$  = poids d'un lieu de culte

$S_{d-com}$  = surface recouverte par une zone de petits commerces dense dans la commune d

$S_d$  = surface totale urbanisée de la commune d

$Pop_d$  = population totale de la commune d

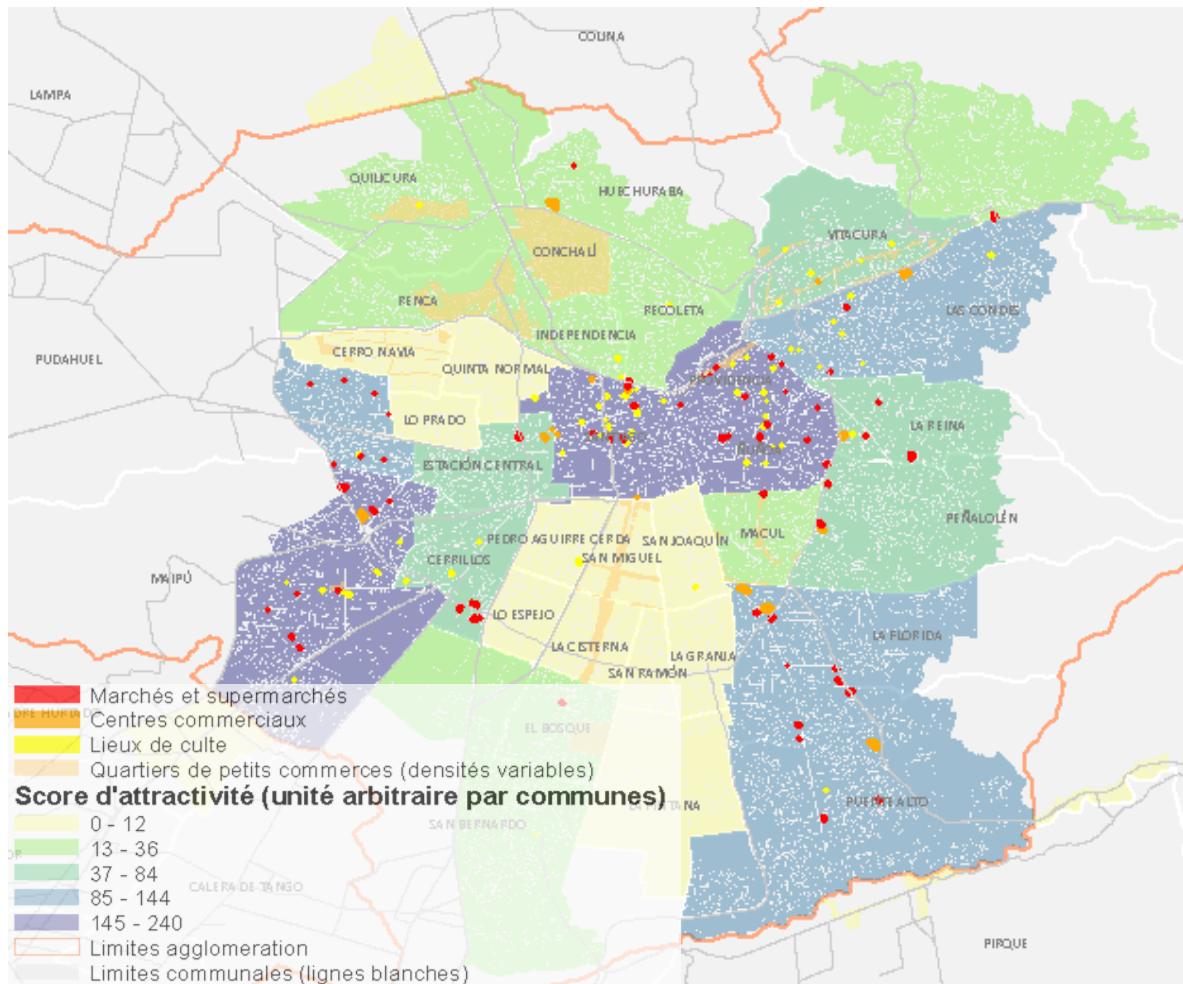
$c_1 = \frac{1}{4}$  = constante arbitraire pour homogénéiser les ordres de grandeur des termes

$c_2 = \frac{1}{20000}$  = constante arbitraire pour homogénéiser les ordres de grandeur des termes

Les poids  $P$  sont déterminés à partir de la fraction de la population concernée par l'activité, et la fréquence à laquelle celle-ci doit être effectuée.



## Carte des lieux d'attractivité pris en compte dans le calcul du score d'attractivité communal



Source : Propre auteur utilisant Arcgis

Une fois le score d'attractivité communal déterminé, on le visualise sur la carte. On repère les quatre communes les plus attractives, qui sont Santiago (229), Maipú (219), Providencia (177) et Nunoa (146). La commune de Maipú est particulièrement remarquable, car elle occupe la deuxième place, largement, alors qu'elle se situe en périphérie.

On peut ensuite calculer les flux entre ces communes en fonction de la population de l'origine et de l'attractivité de la destination :

$$f_{i_{od}} = k_o * \frac{Pop_o * Score_d}{d_{od}^2}$$

$$Fl_{od} = \frac{f_{i_{od}}}{\sum f_{i_o}} * Pop_o$$

$f_{i_{od}}$  = flux théorique (sans unité) partant de l'origine  $o$  et arrivant à  $d$  quotidiennement

$k_o$  = coefficient de granulosité, ici = 1

$Pop_o$  = population de l'origine

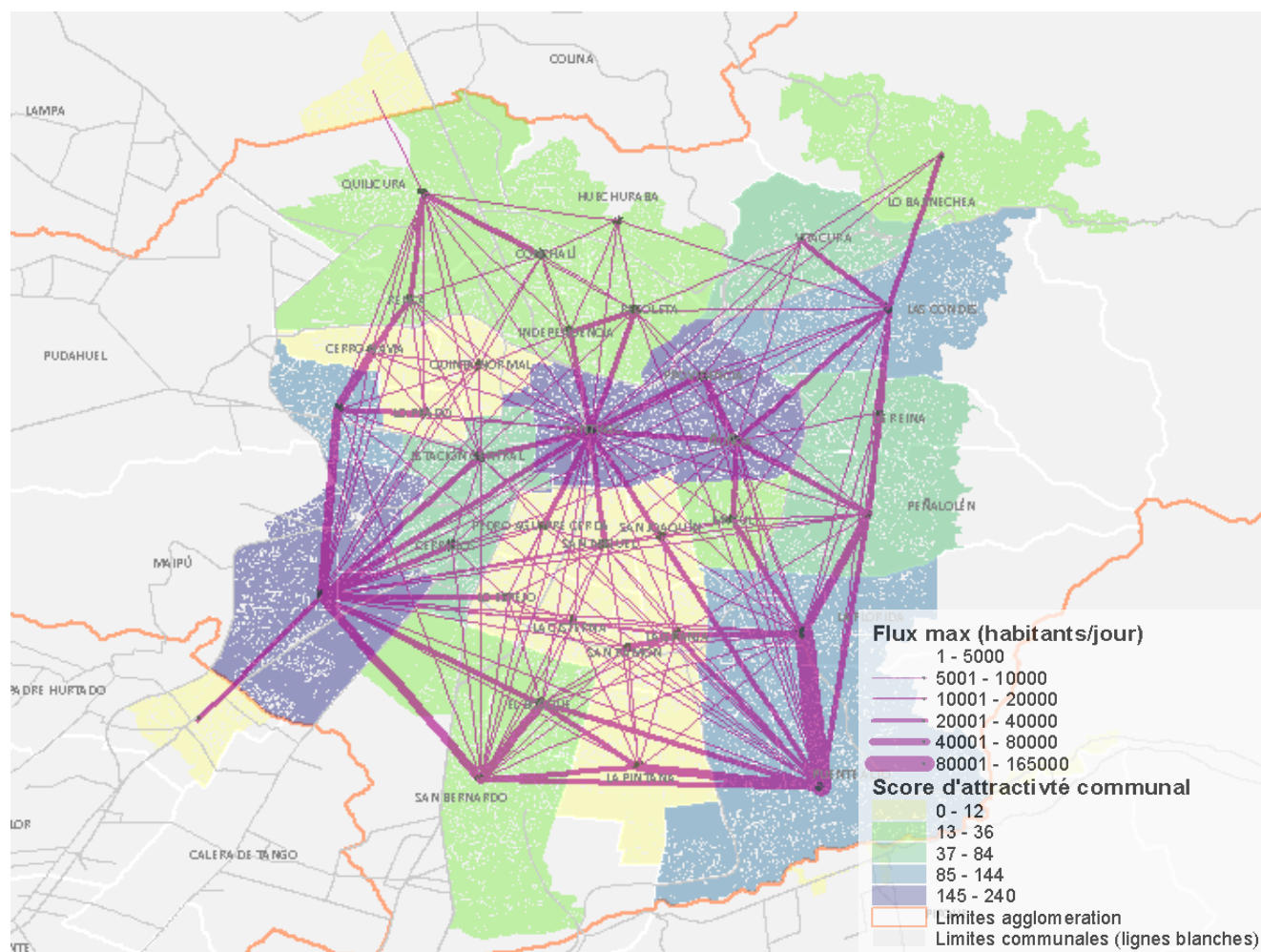
$Score_d$  = score d'attractivité de la commune de destination

$Fl_{od}$  = nombre de gens moyen effectuant le trajet quotidien de  $o$  vers  $d$

$\sum f_{i_o}$  = somme des flux théoriques partant de l'origine  $o$



## Carte des flux d'activité intercommunaux maximums quotidiens



Source : Propre auteur utilisant Arcgis

Sur cette carte, on distingue **3 pôles d'attraction principaux**, qui sont la **commune de Santiago** (avec Providencia et Nunoa) au centre, la **commune de Maipu** à l'ouest, et **les communes de La Florida et Puente Alto** au sud-est. Ces trois pôles concentrent les flux des communes adjacentes vers eux, et sont fortement reliés entre eux.

On note la présence d'un **quatrième pôle potentiel au sud**, la **commune de San Bernardo** pourtant bien moins attractive, qui, reliée aux deux autres pôles périphériques, fait apparaître d'importants flux de la périphérie vers la périphérie, ne passant pas par le centre.

Les **flux d'activité sont très intenses**, ils peuvent aller jusqu'à 165 000 personnes se déplaçant d'une commune à l'autre par jour. Cette carte doit être lue avec précaution cependant, car elle suppose que tous les habitants d'une commune la quittent, ce qui n'est pas nécessairement le cas dans les communes déjà bien équipées. En fait, ce fait qui n'est pas retranscrit sur la carte diminuerait les flux sortant des pôles d'attraction, mais ne changerait presque rien aux flux entrants en provenance de communes moins attractives.

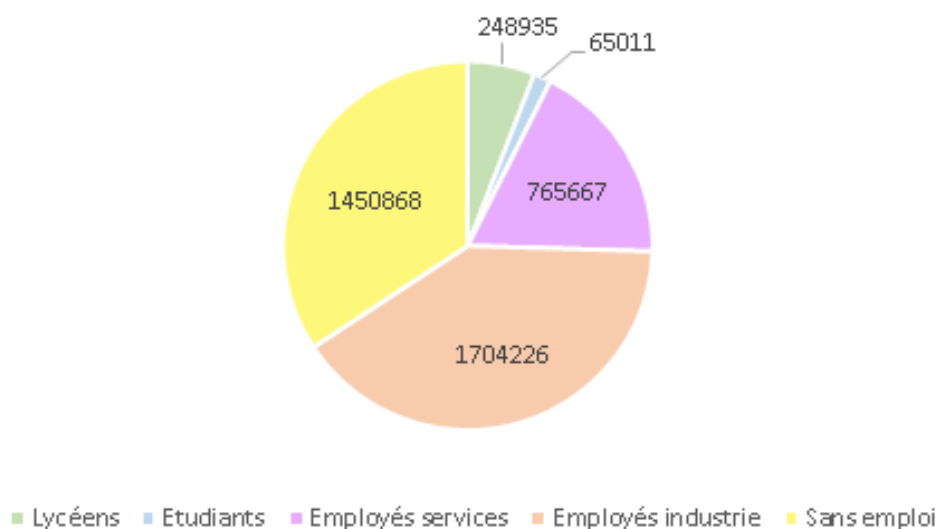
## Les migrations pendulaires professionnelles

Les migrations pendulaires professionnelles représentent les trajets domicile-travail quotidiens. Pour les calculer, nous nous sommes appuyés sur les descriptions des quartiers présentes dans le PLU, et sur la répartition de la population dans l'agglomération. Nous avons ainsi pu déterminer les emplacements des bassins d'emploi. Pour donner du poids à ces différents bassins d'emploi, nous nous sommes appuyés sur les statistiques d'emploi générales de la Banque Mondiale sur le Chili, ainsi que sur les données de population à notre disposition.

Nous faisons plusieurs hypothèses sur ces statistiques. Sachant que 88% de la population du pays est urbaine en 2019, nous considérons que la part de la population active (15 - 65 ans) au Chili, et le taux d'emploi du Chili, s'appliquent identiquement à la ville de Santiago. On obtient alors que 69% de la population totale de Santiago est active, et que 58,325% de cette population est employée.

D'autre part, on sait qu'au Chili, en 2020, 9% des emplois sont dans le secteur primaire (agriculture), 22% sont du secteur secondaire (industrie), et les 69% restants constituent le secteur tertiaire (services). La métropole de Santiago étant une zone fortement urbanisée et entourée de montagnes, on considère qu'elle n'abrite aucun emploi agricole. En revanche, c'est là que se trouvent la majorité des industries du pays. On suppose donc que les emplois de Santiago sont à 31% industriels, et à 69% des emplois de service. Pour notre population totale de 6 137 257 individus, habitant dans la zone étudiée d'après les données SIG actualisées de 2020 dont nous disposons, nous avons donc la répartition suivante :

### Répartition (hypothétique) de la population de santiago en âge de travailler par activité



Grâce à ces informations et aux descriptions du PLU, nous sommes en mesure d'estimer le nombre d'emplois par commune. Nous utilisons les formules suivantes :

$$E_d = E_{d-indus} + E_{d-service}$$

$$Score_{d-indus} = \sum_i (S_{d-indus-i} * z_i) * h_d \quad | \quad Score_{d-service} = \sum_i (S_{d-service-i} * z_i) * h_d$$

$$E_{d-indus} = \frac{Score_{d-indus}}{\sum_j Score_{j-indus}} * E_{indus} \quad | \quad E_{d-service} = \frac{Score_{d-service}}{\sum_j Score_{j-service}} * E_{service}$$

$E_d$  = nombre d'emplois dans la commune destination  $d$

$E_{d-indus}$  = nombre d'emplois industriels dans la commune destination  $d$

$E_{d-service}$  = nombre d'emplois de service dans la commune destination  $d$

$Score_{d-indus}$  = score d'emplois industriels la commune de destination  $d$

$Score_{d-service}$  = score d'emplois de service la commune de destination  $d$

$i$  = indice variant de 1 au nb de types de zones d'emploi différentes du PLU pour une commune

$S_{d-indus-i}$  = surface de la zone d'emplois industriels  $i$  décrite dans le PLU

$S_{d-services-i}$  = surface de la zone d'emplois de services  $i$  décrite dans le PLU

$z_i$  = coefficient arbitraire  $< 1$  traduisant la densité des emplois dans la zone  $i$

$h_d$  = coefficient arbitraire  $> 1$  traduisant la hauteur des bâtiments d'emploi dans la commune  $d$

$j$  = indice variant de 1 au nombre de communes

$E_{indus}$  = nombre total d'emplois industriels dans la métropole de Santiago

$E_{services}$  = nombre total d'emplois de service dans la métropole de Santiago

Le nombre d'emploi hypothétique par commune est utilisé pour pondérer le calcul de flux avec la méthode gravitaire :

$$fi_{od} = k_o * \frac{Pop_o * E_d}{d_{od}^2}$$

$$FI_{od} = \frac{fi_{od}}{\sum fi_d} * E_d$$

$fi_{od}$  = flux théorique (sans unité) partant de l'origine  $o$  et arrivant à  $d$  quotidiennement

$k_o$  = coefficient de granulosité, ici = 1

$Pop_o$  = population de l'origine

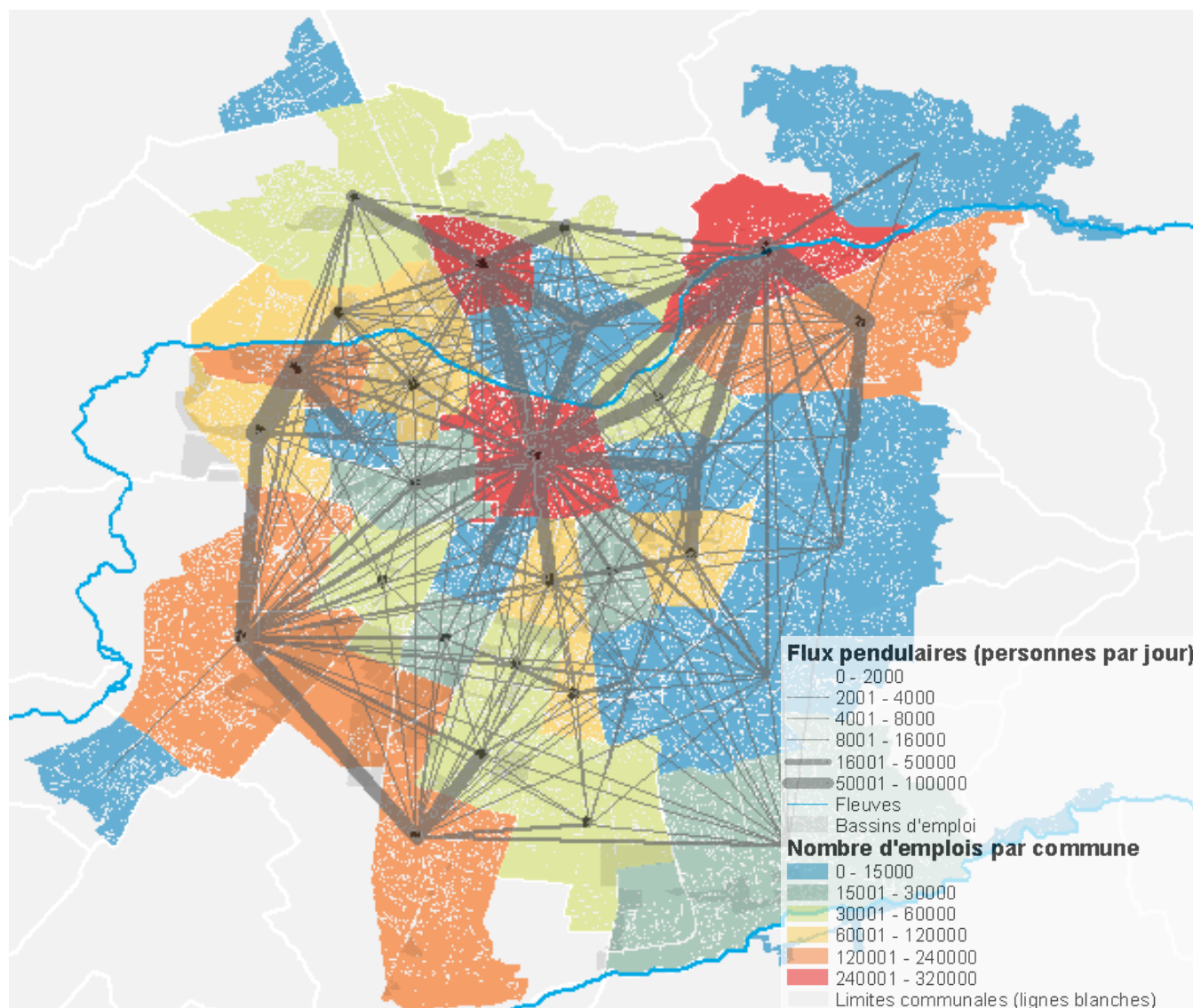
$Score_d$  = score d'attractivité de la commune de destination

$FI_{od}$  = nombre de gens moyen effectuant le trajet quotidien de  $o$  vers  $d$

$\sum fi_o$  = somme des flux théoriques partant de l'origine  $o$

Avec cette méthode, on s'assure que la somme des flux quotidiens obtenue soit égale au nombre de postes estimés de chaque type dans la métropole.

## Carte des flux pendulaires professionnels quotidiens estimés



Source : Propre auteur utilisant Arcgis

Sur cette carte, on distingue trois pôles interreliés au nord, comprenant Santiago, le centre dense commerçant, Vitacura et Las Condes à l'est, abritant les quartiers des affaires et la quasi-totalité des bureaux de la ville, et Quilicura, commune abritant de nombreux ateliers d'artisanat au nord. On note également la présence d'un croissant industriel dans la banlieue ouest sud-ouest, concentrant une partie non négligeable des emplois de la ville.

Le **flux le plus intense** se situe **entre les deux communes les plus aisées**, Las Condes et Vitacura. On observe d'autre part d'importants flux des communes de la petite couronne vers le centre, mais c'est surtout l'ouest qui retient notre attention, avec des **déplacements entre communes de périphérie** de Cerro Navia à Pudahuel, de Pudahuel à Maipu, et entre San Bernardo et Maipu. D'autant plus que de nombreux flux convergent de toute la métropole vers l'ouest industriel, avec une polarité de ces déplacements, en particulier en provenance du centre, vers la commune de Maipu.

## Précautions à prendre dans l'interprétation du diagnostic de la demande

Le diagnostic de la demande se base sur des modèles inexacts dont la pertinence des résultats, bien qu'en général assez représentatifs de la réalité, dépend avant tout de la qualité des données en entrée. Dans le cas de cette étude, certaines données ont manqué, et ces manques ont été comblés par divers coefficients arbitrairement décidés grâce à notre connaissance de la réalité de la ville. Certaines de ces approximations doivent tout de même être explicitées pour éviter de mésinterpréter les résultats.

Premièrement, pour l'évaluation des flux d'activité, nous n'avons aucun moyen de savoir combien de lieux stratégiques manquent à nos données. Quelques recherches sur des cartes en ligne, des visites street view ainsi que l'expérience sur place de Victor nous permettent cependant d'appuyer les conclusions disant que Santiago est le cœur battant de l'agglomération, et que Maipu est une commune étonnamment attractive par rapport à sa position qui ne l'aurait pas laissé deviner. Les communes très attractives données par le modèle semblent représenter assez bien la réalité.

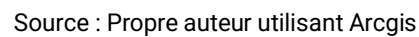
En revanche, les communes les moins attractives dans notre analyse le sont car elles ne disposent parfois d'aucun lieu stratégique dans nos données, mais rien ne garantit que ce soit réellement le cas. C'est pour moduler ce doute que nous avons ajouté une composante proportionnelle à la population de la commune dans le score d'attractivité. Il faut donc garder en mémoire que l'écart entre les communes les moins attractives et les communes moyennement attractives est assez faible, et qu'il n'est pas nécessairement juste.

D'autre part, le modèle de calcul des migrations pendulaires, au-delà des hypothèses statistiques explicitées précédemment, est basé sur des descriptions de quartiers dans le PLU qui sont peu précises, et même incomplètes. Ainsi, la carte ci-dessous montre les zones où aucune description n'est fournie, et où il est donc impossible d'évaluer la quantité ou le type d'emplois.

Ce manque de données est particulièrement crucial dans la commune de Santiago que nous savons particulièrement attractive. Un score d'emplois de services a donc été simulé dans cette dernière, en prenant le troisième quartile de tous les scores de services, ce qui est probablement légèrement sous-estimé. Les autres zones d'ombre en revanche ont été laissées de côté en raison du manque d'information. Le désert d'emplois de la banlieue est n'est donc peut-être pas si désertique que ça, en particulier car on sait que les communes de La Florida et de Puente Alto au sud-ouest sont assez attractives.

D'autre part, notre modèle a tendance à favoriser les zones d'emploi larges et peu denses comparé aux zones plus restreintes mais bien plus denses en raison du manque d'information sur le type et la hauteur des bâtiments. Par défaut, nous avons considéré qu'un manque d'information était équivalent à des commerces en rez-de-chaussée, mais cette méthode a probablement trop avantage la commune de Quilicura, donnée comme un pôle attractif très puissant au nord, mais dont la densité d'emploi a probablement été surévaluée.





## ANALYSE

La métropole de Santiago de Chile est assez bien desservie. Un **réseau de bus assez dense** est présent sur la quasi-totalité de la métropole, et le réseau de métro dessert bien le centre de Santiago ainsi que quelques autres communes. On remarque cependant quelques zones dépourvues et éloignées du réseau de bus et de métro : le Nord-Est, le Sud-Est et le Sud-Ouest.

Le Nord-Est est la région la plus riche, les classe ABC1 et C2 y sont largement majoritaires, tous les habitants possèdent leur propre voiture, n'utilisent pas les transports en commun, et seraient même plutôt **hostiles à une desserte par les réseaux de transports en commun** qui favoriserait l'accessibilité du quartier à des classes moins aisées. Cela explique l'absence du réseau de transport en commun dans le Nord-Est de la métropole.

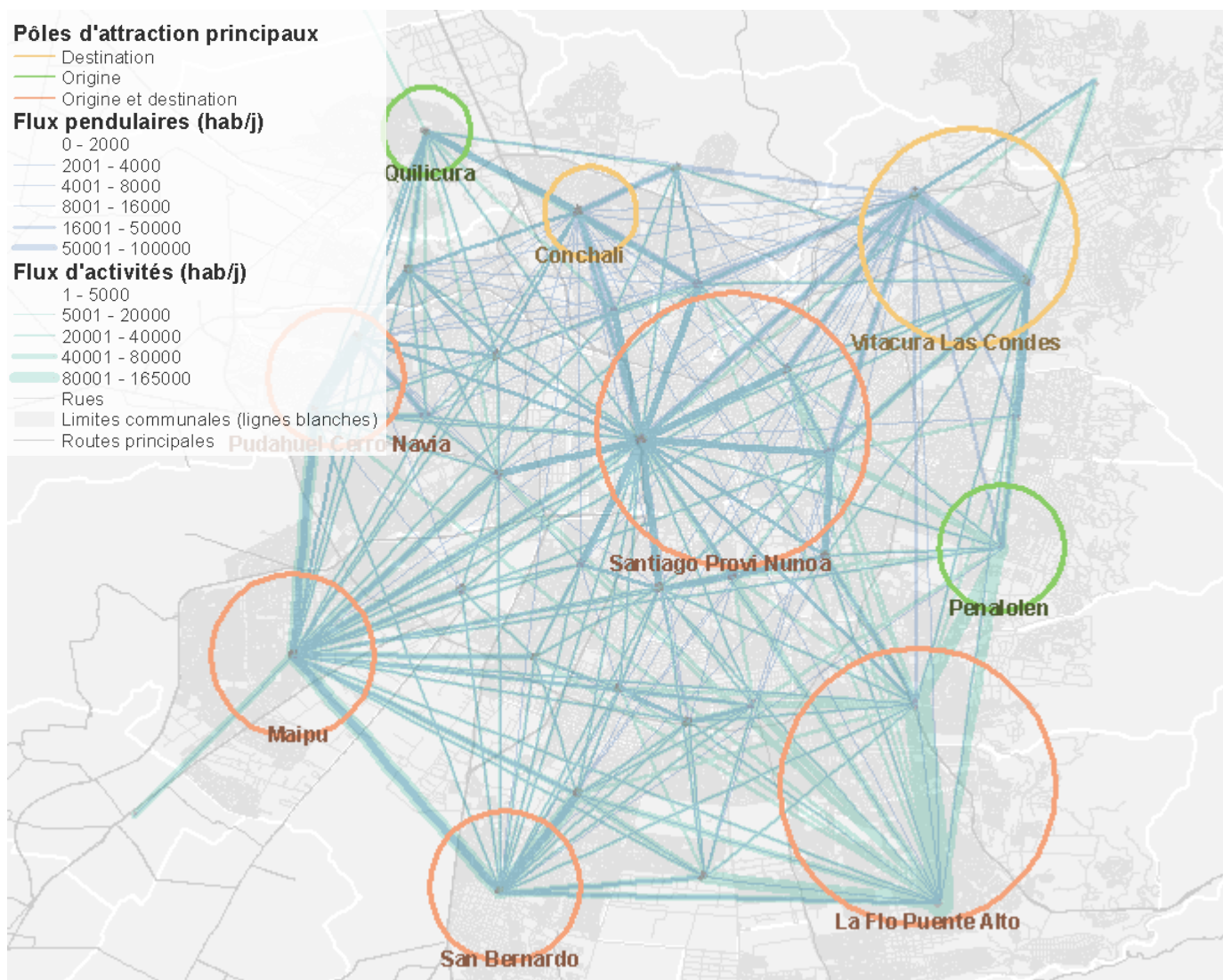
Le **Sud-Ouest et le Sud** sont au contraire des **zones assez mixtes économiquement** : on retrouve des populations très pauvres (classe E) mais aussi des populations de classe moyenne (classe C3), qui n'ont pas les moyens d'avoir une voiture et utilisent les transports en commun.

Ce sont aussi des zones avec des **flux importants** : la commune de Maipú est la seconde commune la plus attractive après Santiago et on remarque un arc de cercle de flux importants **entre les communes de Maipú et de San Bernardo**, qui génèrent et reçoivent des flux (voir carte p 47). Étonnamment aucune ligne de transports en commun (lignes de métro existantes ou prévues ou lignes de bus), ne permettent de rejoindre les deux communes directement : il faut faire un détour et remonter vers le centre de la métropole pour ensuite redescendre vers la commune de destination.

Le **trafic habituellement congestionné** aux heures de pointe (surtout le soir à 18h30) au Sud-Ouest et au Sud de la métropole, illustre les flux importants vers et depuis ces zones.



## Cartes représentant les différentes polarités



Source : Propre auteur utilisant Arcgis