



POLYTECH[®]
TOURS

Département Aménagement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

Accessibilités et aménagement du territoire. Quels outils et quels critères ?

**Étude à l'échelle du SCoT Montargois en
Gâtinais**



2013-2014

Directeurs de recherche
SERRHINI Kamal
THIBAUT Serge
ANDRIEU Dominique

DAUZOUT François
LEGRAND Virgile
PAPIN Guillaume

Accessibilités et aménagement du territoire.

Quels outils et quels critères ?

Étude à l'échelle du SCoT Montargois en Gâtinais

Année 2013-2014

Directeurs de recherche :

- **SERRHINI Kamal**
- **THIBAUT Serge**
- **ANDRIEU Dominique**

Auteurs :

- **DAUZOUT François**
- **LEGRAND Virgile**
- **PAPIN Guillaume**

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche et projet de fin d'études

EN GÉNIE DE L'AMÉNAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

La réalisation de cette étude n'aurait pu être possible sans la participation de certains professionnels qui nous ont apportés leur expertise, une aide à la réflexion ainsi que leur soutien.

Nous tenons à remercier chaleureusement :

M. SERRHINI Kamal, Enseignant chercheur, École Polytechnique de l'Université de Tours, département aménagement, pour son suivi, sa disponibilité du début à la fin, pour son implication et son aide à la réflexion.

M. THIBAUT Serge, Enseignant chercheur, École Polytechnique de l'Université de Tours, département aménagement.

M. MAIZIA Mindjid, Enseignant, École Polytechnique de l'Université de Tours, département aménagement, pour son aide technique sur le modèle gravitaire.

M. PALKA Gaëtan, Doctorant, École Polytechnique de l'Université de Tours, département aménagement, pour la mise à notre disposition de certaines données.

M. ANDRIEU Dominique, Géographe-cartographe, ingénieur d'études à la Maison des sciences de l'homme « Villes et Territoires » de l'Université de Tours, pour ses conseils et ses explications.

Le groupe d'atelier qui travaillé sur une modélisation de la mobilité à l'échelle de Tours et ses environs composé de Mlle CURIAS Chloé, M. DAUZOUT François, Mlle HIMPENS Pauline, Mlle LLULL Anaïs et Mlle RENAUDET Audrey.

Les professionnels rencontrés lors du voyage d'étude à Montréal, Mme POITRAS Claire de l'Institut National pour la Recherche Scientifique, M. KLEIN Juan Lewis de l'Université du Québec À Montréal et M. MONETTE Frédéric de École de Technologie Supérieure, qui ont assistés à une présentation de l'atelier modélisation de la mobilité et qui par leur questions, ont fait murir ce projet.

Nous souhaitons également remercier nos familles et nos amis qui nous ont encouragés tout au long de ce projet, du choix du sujet jusqu'à la rédaction de ce rapport mais également l'ensemble des étudiants du département aménagement qui ont compris notre appropriation conséquente des postes dans les salles informatiques.

AVERTISSEMENT	5
FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ÉTUDES EN GÉNIE DE L'AMÉNAGEMENT	7
REMERCIEMENTS	9
SOMMAIRE	11
INTRODUCTION	15
CONTEXTE DE RECHERCHE.....	16
ÉTAT DE L'ART	17
ACCESSIBILITÉ.....	17
a. Accessibilité réseau	18
b. Accessibilité basée sur la distribution spatiale des activités ou accessibilité zonale.....	21
c. Accessibilité basée sur l'individu	24
d. Accessibilité utile.....	25
PRÉSENTATION DU TERRITOIRE	26
LOCALISATION	26
LE PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE.....	26
IRIS.....	27
ACCESSIBILITÉ ET SYSTÈMES D'INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES.....	28
ACCESSIBILITÉ ET SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUES.....	28
a. Les systèmes d'informations géographiques	28
b. Données en entrée	30
c. Accessibilité et fonctions d'ArcGIS Network Analyst.....	31
L'ACCESSIBILITÉ ZONALE, UTILISATION DU MODÈLE PROBABILISTE	38
MÉTHODE(S).....	38
a. Le modèle de Huff ou la nécessité d'un modèle probabiliste	38
b. Le choix de l'attraction (A_j).....	38
c. Le choix de la distance séparant les zones (D_{ij}).....	39
d. Le frein au déplacement (β)	39
e. Approches du modèle.....	39
RÉSULTATS.....	41
a. Corrélations.....	41
b. Critères d'attraction A_j	42
ANALYSE & SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	47
a. Les centralités périphériques.....	47
b. Force du D_{ij} force de l' A_j	48
LIMITES & PROLONGEMENTS	49
ACCESSIBILITÉ GRAVITAIRE	50
LE MODÈLE GRAVITAIRE	50
a. Le choix du modèle.....	50
b. Objectif de l'étude.....	51
CONCEPTION DES DIFFÉRENTES BASES DE DONNÉES	52
a. Flux de déplacements T_{ij}	52
b. Attraction A_j	55
c. Génération G_i	56
d. Matrice Origine-Destination (D_{ij})	56
DÉTERMINATIONS DES CONSTANTES A ET B	57
a. Méthode.....	57
b. Résultats.....	57
ESTIMATION PAR INTERVALLE DE CONFIANCE	57
a. Risque d'erreur 5%	58
b. Risque d'erreur 10%	59

c. <i>Risque d'erreur 20%</i>	60
LIMITES ET SYNTHÈSE	61
a. <i>Limites des données</i>	61
b. <i>Vers l'identification de centralités de second ordre</i>	61
CONCLUSION	63
BIBLIOGRAPHIE	65
ARTICLES SCIENTIFIQUES	65
OUVRAGES.....	65
THÈSES, RAPPORTS	66
TABLE DES ILLUSTRATIONS	67
CARTES	67
FIGURES	67
GRAPHIQUES.....	68
TABLEAUX.....	68
INDEX DES SIGLES	69
ANNEXES	70
ANNEXE 1 – DÉMARCHE POUR RÉALISER UNE MATRICE OD	70
ANNEXE 2 – INTERPOLATION IDW OU PONDÉRATION INVERSE À LA DISTANCE	75
ANNEXE 3 – ÉTUDE DE LA DIFFÉRENCE ENTRE L'AGA ET DE L'AGR	76
ANNEXE 4 – ACCESSIBILITÉ GÉNÉRALISÉE RETOUR SUR LE TERRITOIRE DE MONTARGIS.....	77
TABLE DES MATIÈRES	78

Le laboratoire CITERES de l'Université de Tours a pour projet, dans le cadre du contrat de recherche T.R.U.C. (Transport, Réseaux, Urbanisme, Croissance) passé avec la Région Centre, l'Université d'Orléans et la DDE 45, d'étudier l'accessibilité, tant sur le plan spatial que temporel, en tant que composante de l'étalement urbain.

En effet, l'étalement urbain est, de nos jours, une des problématiques majeures auxquelles les aménageurs doivent faire face, si ce n'est la plus importante. Effectivement, depuis des décennies la part de terre urbanisée par habitant ne cesse de croître en France, et ailleurs dans le monde. De nombreux spécialistes imputent cette croissance exponentielle du milieu urbanisé (le rurbain) au développement de l'accessibilité en périphérie, rendant les centres-villes et les pôles d'emploi, que représentent les zones d'activités périphériques, toujours plus accessibles et ce de plus en plus loin.

Cette étude et lutte contre l'étalement urbain commence en France dès 1977 avec la publication par le ministère de l'équipement d'une plaquette « Attention mitage » [RENARD, 2011] proposant deux schémas : la ville étalée contre la ville compacte. Plus récemment, c'est dans le Grenelle de l'Environnement que la lutte législative s'est le plus formalisée, en mettant en place un document cadre renseignant sur les leviers existants pour lutter contre l'étalement urbain (foncier, fiscalité, etc.) [RENARD, 2011].

Mais la problématique de l'étalement urbain fait également appel à la problématique de la mobilité, et de l'accès aux services. En effet, les prix élevés de l'immobilier dans les centres, et ceux relativement modérés du foncier en périphérie, ont pour le plus souvent écarté les ménages modestes de la ville compacte [COUTARD, 2001]. Une dimension sociale se rajoute alors à la dimension environnementale à propos de l'étalement urbain. Conséquemment, on peut s'interroger sur ce qu'il adviendra de ces ménages motorisés et dépendant de la voiture quand l'on atteindra des prix du carburant privant de tout déplacement.

Ce rapport de Projet de Fin d'Études (P.F.E.) s'inscrit donc dans la continuité du projet T.R.U.C. en essayant d'apporter une analyse critique des travaux effectués sur l'accessibilité, et en mettant le projet T.R.U.C. en regard des autres travaux qui ont pu être réalisés, en la matière, dans la communauté scientifique internationale. En outre, ce projet de recherches devant déboucher sur des outils concrets d'analyse et de modélisation, une grande part sera laissée à l'étude des logiciels modélisant l'accessibilité. Enfin, deux modèles seront étudiés afin de comprendre au mieux l'organisation d'une agglomération comme Montargis avec ses centres, ses périphéries, afin de savoir s'il s'agit d'une agglomération unipolaire ou multipolaire, et de comprendre l'organisation des flux au sein du SCoT montargois, notamment sur le motif domicile-travail.

Ces parties développées tenteront de répondre à la problématique suivante :

**Quel(s) outil(s) pour modéliser efficacement et de manière réaliste
l'accessibilité et son impact sur l'étalement urbain ?**

Ce projet de fin d'étude est réalisé dans le cadre du contrat T.R.U.C. (Transports Réseaux Urbanisation Croissance) soutenu par la région Centre de 2009 à 2014.

L'objectif du contrat est de simuler la croissance des agglomérations en fonction des paramètres pertinents (géographiques, socioéconomiques, infrastructurels) afin de tester différentes hypothèses d'aménagement et de création d'infrastructures.

Le territoire d'étude est l'agglomération de Montargis.

Ce contrat TRUC se positionne en tant qu'outil d'aide à la décision en vue de l'élaboration du SCoT de l'agglomération de Montargis.

Il regroupe des chercheurs de plusieurs disciplines scientifiques autour des thèmes de l'accessibilité et de la croissance.

Recherche pluridisciplinaire, TRUC rassemble :

- Le laboratoire de mathématiques (MAPMO) de l'Université d'Orléans
- Le Centre d'études sur le développement des territoires et l'environnement (CEDETE) de l'Université d'Orléans
- Le Centre de recherche sur la matière divisée (CRMD) de l'Université d'Orléans
- Le Centre interdisciplinaire cités, territoires et environnement (CITERES) de l'Université de Tours
- La Direction Départementale de l'Équipement du Loiret (DDE45), ayant pour rôle de soutenir l'étude dans le cadre de la mise en place du SCoT

Le projet TRUC se décompose en plusieurs phases :

- Diagnostic
- Modélisation
- Simulations et interprétation
- Généralisation

Cette étude trouve son sens dans l'objectif d'étudier et par conséquent, à long terme, de pouvoir limiter l'étalement urbain. Lorsque l'on s'intéresse à l'étalement urbain et à la croissance urbaine la notion d'accessibilité devient un facteur, qui la favorise ou l'atténue. Les notions d'étalement urbain et d'accessibilité sont donc dépendantes l'une de l'autre, c'est pourquoi une étude sur la croissance nécessite une étude sur l'accessibilité.

Accessibilité

L'accessibilité d'un lieu peut être définie de manière empirique comme étant la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou plusieurs lieux, à l'aide de tout ou partie des moyens de transport existants [CHAPELON, 2005]. Cependant cette définition se réduit à la possibilité d'atteindre le lieu et sa difficulté exprimée en temps ou distance-temps. L'accessibilité dans notre étude, afin de répondre aux enjeux en aménagement du territoire doit aussi prendre en compte des aspects non intrinsèques au système de transport utilisé. La position physique d'un lieu n'est alors plus la seule et unique condition à prendre en compte dans le calcul de son accessibilité.

L'accessibilité devient alors une notion particulièrement difficile à définir et est caractérisée par plusieurs composantes [GEURS, 2004].

Celles-ci peuvent être réduites au nombre de quatre :

- **Occupation des sols** : répond à la question du motif du déplacement. Il s'agit par exemple de l'accessibilité aux emplois, aux commerces ou aux services. Elle qualifie donc un lieu d'accessible ou non de par sa capacité attraction.
- **Infrastructure** : dépend du moyen de transport utilisé et de la qualité du réseau emprunté. Le nombre de voies, la limitation de vitesse ainsi que le sens de déplacement sont donc à prendre en compte dans cette composante.
- **Temporalité** : prend en compte l'horaire à laquelle l'accessibilité est calculée et cela influe donc sur la qualité du réseau, les effets de congestion ou encore la disponibilité d'un réseau de transport en commun.
- **Individualité** : réfère à la personne qui sera assujetti à se déplacer. C'est la composante la plus influente car elle définit la capacité d'un individu à se déplacer au travers ses besoins, ses intérêts, son budget ou sa capacité à utiliser un mode de transport.

L'accessibilité est non seulement dépendante du réseau utilisé mais elle peut aussi dépendre selon un gradient plus ou moins élevé, de la mobilité de l'individu, de la position spatiale des activités par rapport au point de départ de l'individu, et du moment auquel les activités sont disponibles.

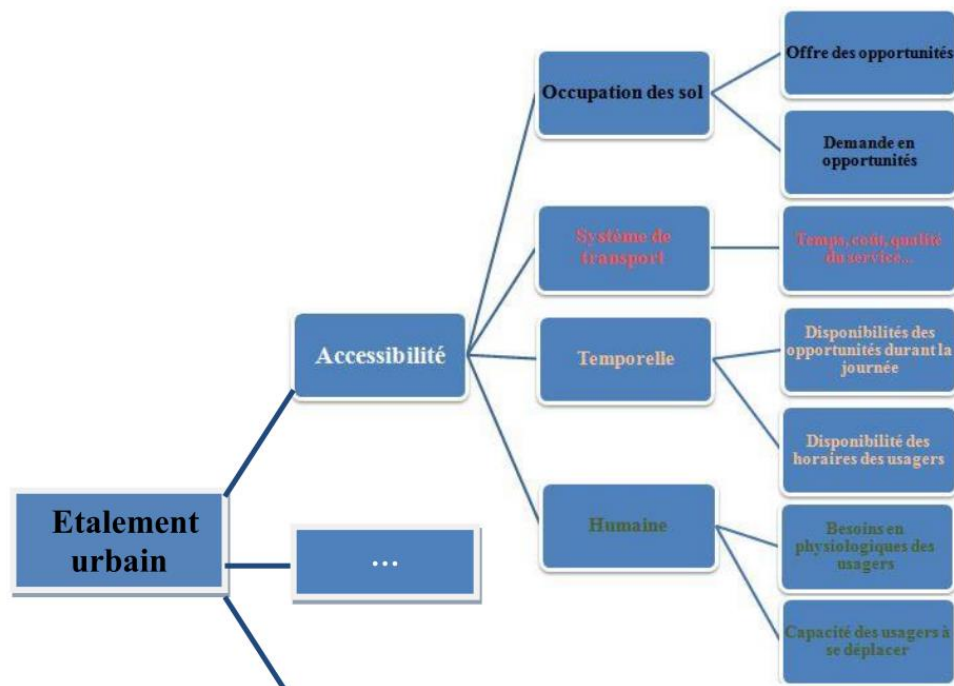


Figure 1 - Schéma explicatif des liens entre l'étalement urbain, l'accessibilité ainsi que ses composantes

À ce titre, les différentes composantes peuvent être plus ou moins négligées, ou prises en compte, en fonction de l'approche qui est effectuée pour mesurer l'accessibilité. En effet, les composantes seront plus ou moins au centre de la mesure et, par conséquent, mises ou non en exergue.

a. Accessibilité réseau

C'est l'analyse de la performance ou du niveau des services d'infrastructure, comme le « niveau de congestion » ou la « moyenne de temps passé sur les routes ». Cette mesure est importante dans beaucoup de pays. Par exemple le Plan National de transport des Pays Bas est basé sur ce modèle d'utilisation des transports. Cependant, cette méthode ignore les potentiels impacts de l'utilisation des sols sur les temps de déplacement.

Dans les premières études [GANE, 2011] le niveau d'accessibilité d'un territoire sur une période donnée se traduisait par la variation du linéaire de route (m) que l'on peut utiliser par unité de surface (km²). On parle alors de densité kilométrique que l'on exprime en m/km². Ainsi différents intervalles sont établis (inférieure à 500 m, entre 500 m et 1 000 m, entre 1 000 m et 1 500 m, entre 1 500 m et 2 000 m et supérieure à 2 000 m) et de ce fait, le niveau d'accessibilité d'un territoire est plus important s'il a connu une variation supérieure à 2 000 m de route au kilomètre carré entre deux dates données.

La seconde étude [FIET, 2013] définissait l'accessibilité A_0 d'un lieu L_0 à un ensemble de n lieux $\{L_1, \dots, L_n\}$ comme la moyenne des temps nécessaires pour se rendre de L_0 à chacun des lieux L_i (notés t_{0i}). Ce qui se traduit par la formule suivante :

$$A_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{0i}}{n}$$

La distance temps a été privilégiée par rapport à la distance kilométrique car il s'agissait ici d'accessibilité pour des livraisons de marchandises et ces dernières s'effectuent principalement sur des infrastructures autoroutières pour gagner le plus de temps. De plus, les effets induits par de possibles congestions qui évoluent au cours de la journée ne sont pas pris en compte et de ce fait le temps t_{0i} est indépendant du moment de la journée. Enfin ce temps t_{0i} est le temps minimal nécessaire pour se rendre de L_0 à L_i , par le réseau routier.

L'étude suivante [NOBILI, 2012] porte sur l'accessibilité généralisée, c'est-à-dire que l'accessibilité d'un lieu, d'un nœud, est la somme des distances (kilométrique ou temps) d'un nœud vers tous les autres nœuds du territoire. Le calcul de vitesse d'un tronçon est basé sur les trois critères suivants : la nature, l'importance et la localisation du tronçon.

Selon la nature d'un tronçon, la vitesse de base n'est pas la même c'est pourquoi quatre nature ont été établies : autoroute, bretelle, route à une chaussée et route à deux chaussées. L'importance du tronçon se décline en cinq niveaux : liaisons entre métropoles, entre départements, entre villes, permettant de se déplacer rapidement au sein d'une commune, permettant de desservir une commune. Et enfin la localisation du tronçon permet d'établir une densité de mètres carrés bâtis par mètre de route et on distingue alors quatre classes : entre 100 m² et 30 m², entre 30 m² et 4.5 m², entre 4.5 m² et 3 m² et inférieure à 3 m². Par la suite, un algorithme a été rédigé afin d'affecter une vitesse à chaque tronçon en fonction des trois critères que sont la nature, l'importance et la localisation du tronçon.

Dans la dernière étude [FIET, 2013] les calculs de l'accessibilité des déplacements domicile-travail se sont appuyés sur le modèle gravitaire :

$$T_{ij} = \alpha \cdot \frac{A_j}{D_{ij}^\beta}$$

Ce modèle exprime les flux de déplacement T_{ij} entre deux zones i et j comme étant proportionnels à une attraction A_j , qui peut être l'emploi dans j et à une génération G_i , qui peut être la population active de la zone i . Par ailleurs, ces flux sont inversement proportionnels à la distance D_{ij} entre i et j . Ce modèle est constitué de deux facteurs : α et β qui sont respectivement un facteur d'homogénéisation et un facteur représentant le frein au déplacement.

L'objectif de ce projet de recherche était de déterminer le facteur d'homogénéisation de deux façons : une première par « tâtonnement » et une seconde par régression linéaire. La méthode par tâtonnement n'a pas apporté de résultats satisfaisants, c'est pourquoi une seconde méthode a été développée. De la même manière, les résultats n'ont pas été à la hauteur des attentes puisque le coefficient de corrélation était de 18 % ce qui se traduit par une faible explication du territoire par le modèle gravitaire.

Dans ME2S : Mathématiques Espaces et Sciences Sociales [THIBAUT, 2003] l'accessibilité est étudiée en rapport à la notion de centralité. Celle-ci définit les relations entre centre et périphérie, des relations émetteurs-attracteurs peuvent être générées et symbolisées par différents flux de plus ou moins grandes importances.

Par la suite il est définie qu'un centre est caractérisé par son contenu et son accessibilité.

« Un lieu très accessible mais sans contenu, sans que rien ne s'y passe ne peut pas être central, il ne l'est que virtuellement. » Il est donc reconnu que la caractéristique accessibilité ne définit pas à elle seule la centralité d'un lieu.

Il est défini que l'accessibilité d'un lieu est la composante de deux distances :

- V : La distance d'un lieu à tous les autres lieux du réseau, c'est l'accessibilité interne.
- La distance la plus courte du lieu au système constitué par la rocade (R) ou l'autoroute(A)* : système constituant la frontière du réseau étudié, c'est l'accessibilité externe.

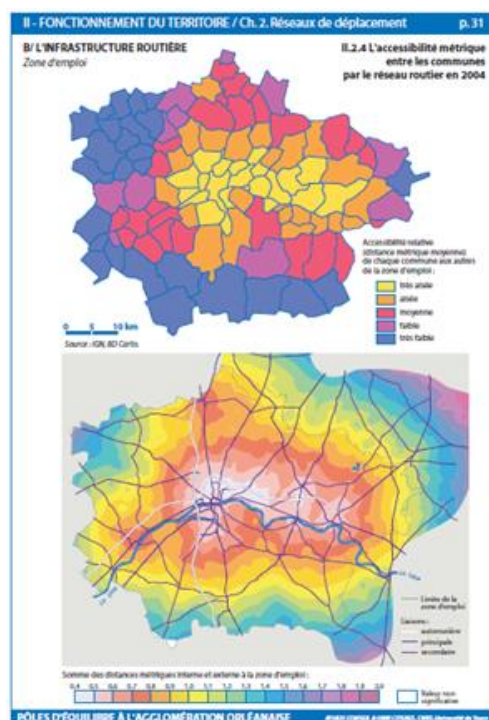
(*) Ces points d'accès à la frontière sont définis comme étant les ports d'échanges.

L'accessibilité globale d'un lieu dans ME2S est donc défini comme étant $V + ((R+A)/2)$.

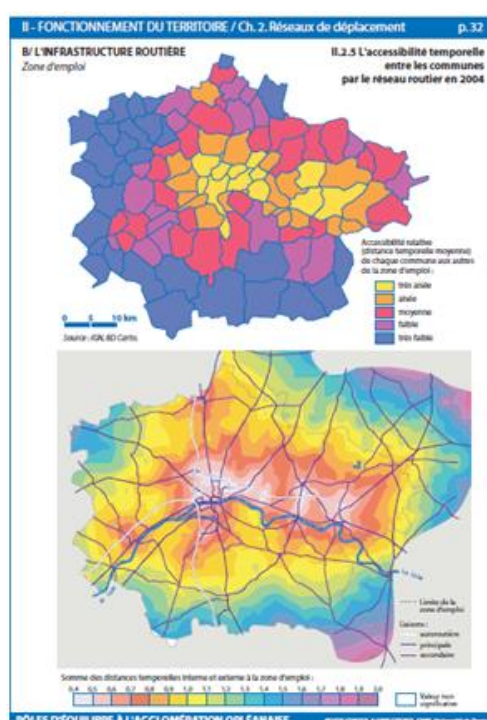
Afin de comparer ces valeurs chaque distance (accessibilité) est divisée par la distance maximale pour avoir des valeurs significatives et un résultat plus visible.

Les distances métriques et temporelles ont été retenues afin d'observer les résultats cartographiés et voir quel modèle donne une meilleur interprétation.

L'exemple qui suit traite de l'accessibilité au niveau de l'Orléanais.



Carte 1 - Accessibilité temporelle



Carte 2 - Accessibilité métrique

Ici l'accessibilité interne favorise les lieux situés au centre du réseau, cependant l'accessibilité externe, elle, favorise les lieux à proximité des portes. On obtient donc des cartes polycentrées, avec l'axe ligérien étant plus accessible ainsi qu'une zone au Nord correspondant à la commune d'Artenay et une zone à l'Ouest correspondant à Beaugency.

Un autre exemple d'étude de l'accessibilité d'un point de vue infrastructurelle est celui de T.R.U.C. Dans ce cas l'étude se porte sur la commune de Montargis, il y est défini la notion d'accessibilité généralisé (AG) : c'est la somme des plus petites distances allant d'un point du graphe vers tous les autres points. Cette notion est équivalente à celle d'accessibilité interne définie précédemment dans ME2S.

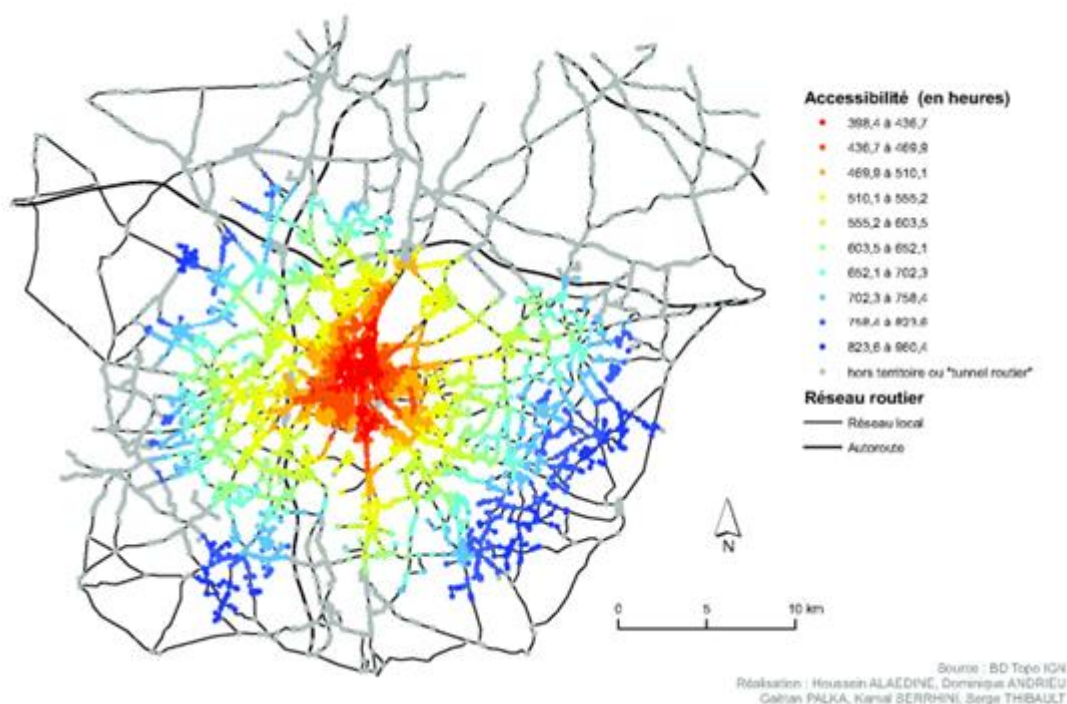
Afin d'aller plus loin que ME2S, il a été introduit deux nouvelles formes d'accessibilités :

- AGA : Accessibilité Généralisée Aller : c'est le calcul du temps total depuis un nœud vers tous les nœuds du graphe
- AGR : Accessibilité Généralisée Retour : calcul du temps total depuis tous les nœuds du graphe vers un nœud donné

Ces deux nouvelles formes AGA et AGR ont été expérimenté et calculé par Houssein ALAEDDINE [ALAEDDINE, 2014].

Cette différence permet ainsi de mettre en évidence les particularités du réseau comme le sens des voiries, le nombre de voies utilisables dans un sens ou un autre, cela permettant de définir des nœuds majeurs du réseau comme les entrées d'autoroutes par exemple.

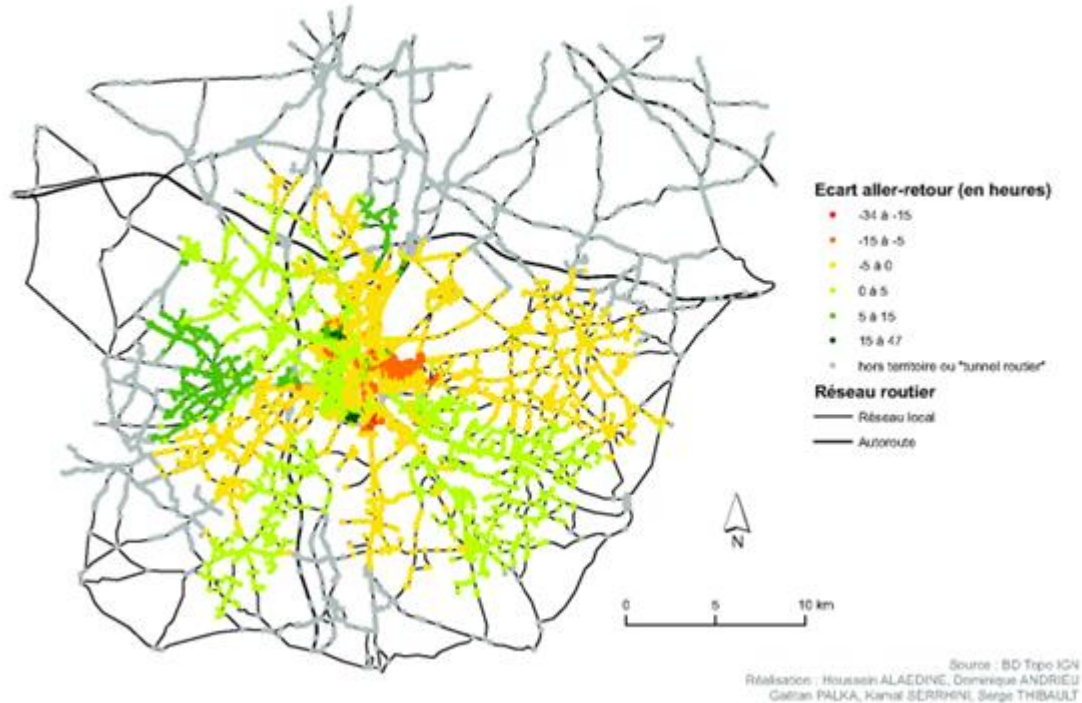
On obtient donc deux cartes relativement proches, visant tout d'abord à caractériser une certaine topologie des réseaux de voiries, c'est dire à caractériser la proximité et l'éloignement entre nœuds à partir d'une mesure type distance mais qui n'est pas strictement une distance.



Carte 3 - Accessibilité généralisée "Aller"

Afin d'obtenir une carte plus significative, il a été calculé la différence entre AGA et AGR, celle-ci se démarque des deux autres cartes précédentes et on obtient non plus une seule centralité mais une agglomération en deux morceaux. On peut en effet observer deux zones :

- Les « enclaves » : Dans des teintes rouge/orangées, il est plus difficile de quitter ces lieux que d'y accéder : ce sont les quartiers situés proche du centre-ville où les possibilités d'itinéraires sont compliquées par des sens interdits
- Les « bassins-versants » : Dans des teintes vertes/jaunes il est plus facile de quitter ces lieux que d'y accéder : en périphérie de l'agglomération les faibles écarts tiennent essentiellement à la structuration de l'accessibilité par des axes routiers importants et relativement plus rapides.



Carte 4 - Ecart entre AGA et AGR

L'indicateur d'AG est un moyen classique et efficace pour caractériser les nœuds d'un réseau routier (un graphe). Cet indicateur met généralement en évidence les nœuds centraux du réseau c'est-à-dire ceux les plus accessibles à tous les autres et les lieux périphériques dotés d'une accessibilité médiocre.

Le tableau suivant résume les intérêts et critiques de l'accessibilité infrastructurelle.

Intérêts	Critique
- Défini la qualité du réseau (sens et nombres des voies) - Simplicité d'utilisation - Résultat lisible : isochrones	- Le motif et le mode du déplacement ne sont pas pris en compte - Non prise en compte des contraintes de flux : effets de congestions - Difficulté à montrer les multicentralités

b. Accessibilité basée sur la distribution spatiale des activités ou accessibilité zonale

Les mesures d'accessibilité basées sur l'emplacement, la situation, des activités, sont utilisées principalement à l'échelle macroscopique. Elles mesurent le niveau d'accessibilité à des entités réparties dans un environnement (par exemple : "le nombre de cinémas accessibles dans un rayon de 20 minutes en voiture"). Elles sont typiques des études dans le champ de l'urbanisme et des études géographiques [GEURS, 2004].

Des mesures plus complexes peuvent prendre en compte les limites de capacité de certaines activités (stationnement, places de cinéma, etc.) afin de traiter avec les effets de concurrence entre activités. [GEURS, 2004].

On peut regrouper en deux entités les différents types d'accessibilité :

- Mesures de distances (simples et complexes, de contour)
- Mesures d'accessibilité potentielle

Les mesures de distances permettent de mesurer la connectivité de deux endroits ou points. Il peut s'agir de la mesure de la distance la plus simple d'un point A à un point B. Cela peut s'appliquer en urbanisme, par exemple chaque habitation d'une ville doit être reliée en 20 minutes par une caserne de pompier.

Si plus d'une destination est possible (mesures de distances complexes), on a souvent à faire avec la théorie des graphes [VANDENBULCKE, 2007]. Cette théorie représente de façon simplifiée les réseaux (routiers, ferrés...) liant les nœuds qui sont les villes, les usines, etc.

On peut également utiliser les mesures de contours, ou cartes isochrones, permettant de connaître le nombre de services atteignables par une personne en un coût donné, et réciproquement le nombre de personnes atteintes par un service, ou alors, le coût nécessaire pour atteindre un nombre d'activités donné.



Carte 5 - Simplification du réseau ferré en Europe entre les principales villes européennes (VANDENBULCKE, 2007)

Ce type de mesures est facile à interpréter, et ne nécessite pas beaucoup de données. Cependant, même si elles prennent en compte les composantes des infrastructures et de l'occupation du sol, elles n'expliquent pas leurs interactions, et effets combinés. De plus, elles ne tiennent pas compte de l'effet de compétition entre les activités, tous les points atteints ont ainsi la même valeur. Ce type de mesures apporte peu aux évaluations socio-économiques des changements d'occupation du sol et des transports.

Les mesures d'accessibilité potentielle estiment l'accessibilité des opportunités dans un environnement par rapport à leur taille et à leur distance d'un point donné, généralement l'accessibilité évolue proportionnellement à la taille de l'opportunité et inversement proportionnel à la distance (principe du modèle gravitaire). Cette méthode nécessite un calibrage du modèle, en s'appuyant sur des données empiriques récentes et localisées.

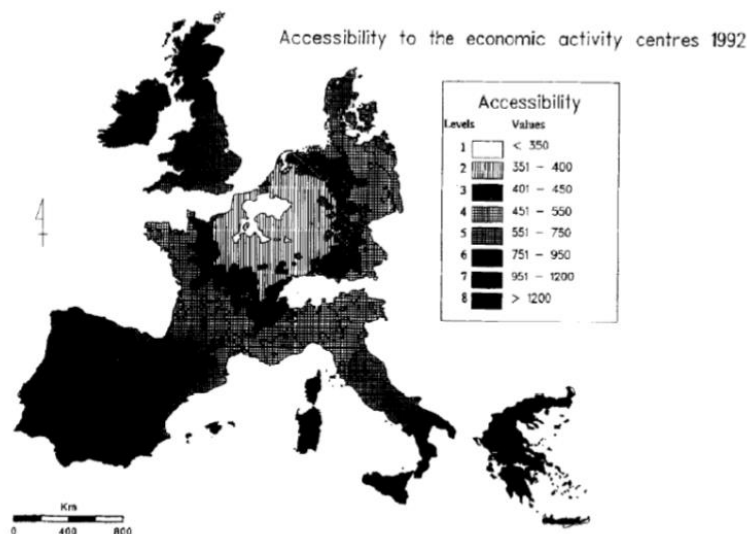
On peut citer par exemple le modèle d'accessibilité potentielle de **Hansen** [PINI, 1995] :

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j d_{ij}^{-\beta}$$

où A_i est l'accessibilité de la zone i à toutes les activités D dans la zone j , d_{ij} est la distance séparant les zone i et j , et β est un paramètre reflétant le frein au déplacement.

Le modèle d'accessibilité de Hansen estime l'accessibilité d'une zone j vers toutes les autres zones n où les activités les plus lointaines ont une influence moindre et diminuant avec la distance. Dans ce cas, l'accessibilité est directement reliée à l'attraction des zones.

Ces mesures sont adaptées pour des indicateurs estimant le niveau d'accès de différents groupes socio-économiques à différentes opportunités économiques et sociales. Les mesures d'accessibilité potentielle regroupent le modèle gravitaire et ses variantes, comme le **modèle de Fustier ou de Huff** [PINI, 1995].



Carte 6 - Accessibilité potentielle aux principaux centres d'activités économiques, 1992 (Guttériez, 1996)

On peut citer les travaux de Gutiérrez et Urbano [GUTTERIEZ, 1996] qui ont utilisé ce type de modèle pour estimer l'impact du futur réseau ferré transeuropéen sur l'accessibilité (pour la période 1992-2002). Cela consistait à calculer une moyenne pondérée des impédances entre chaque nœud en tenant compte des principaux centres d'activités économiques et en prenant en pondération les produits intérieurs bruts (PIB) de ces centres. L'analyse de l'accessibilité aux centres confirma les différences marquantes, concernant les conditions d'accessibilité à l'intérieur de l'Europe, et montra que, en 1992, les régions les plus privilégiées correspondaient à la zone centrale de la « banane bleue » européenne.

Cependant, il existe certaines limites, intrinsèques à ce type de mesures, car les vérifications du modèle gravitaire restent relativement difficiles à effectuer dans la plupart des cas. En effet, à part pour les déplacements domicile-travail où des données existent, les statistiques précises et fiables pour d'autres motifs de déplacements (achats, loisirs, etc.) restent difficiles à trouver ou même à rassembler.

Ainsi, le calibrage du modèle (choix du frein au déplacement, choix du bon critère d'attraction) est très difficile à réaliser, dépendant autant de la situation géographique que du mode de transport utilisé ou encore des individus concernés [Pini, 1995]. De plus, la simplicité du modèle risque parfois d'occulter d'autres facteurs qui peuvent entrer en ligne de compte (effet concurrentiel, influence du consommateur, etc.) et sa valeur de prédiction a souvent pris le pas sur les limites théoriques du modèle (pas de réelle théorie pour définir les constantes de calibrage) [Pini, 1995].

“Un obstacle fondamental à son utilisation pour la projection est le manque de toute théorie pour expliquer les valeurs et les fonctions que l'on attribue aux exposants et pondération”

W. Isard (1972)

De plus, L. Curry (1972) [PINI, 1995] pointe le risque d'**autocorrélation spatiale** entre les caractéristiques lieux-origines et des lieux-destination, qui biaiserait les résultats du modèle, en effet des lieux proches géographiquement auraient, de nature, plus de tendances à créer des interactions que des lieux éloignés, même si les premiers n'ont pas spécialement de besoins d'interaction (spécialités des lieux, manque de ressources, etc.) à l'inverse des seconds.

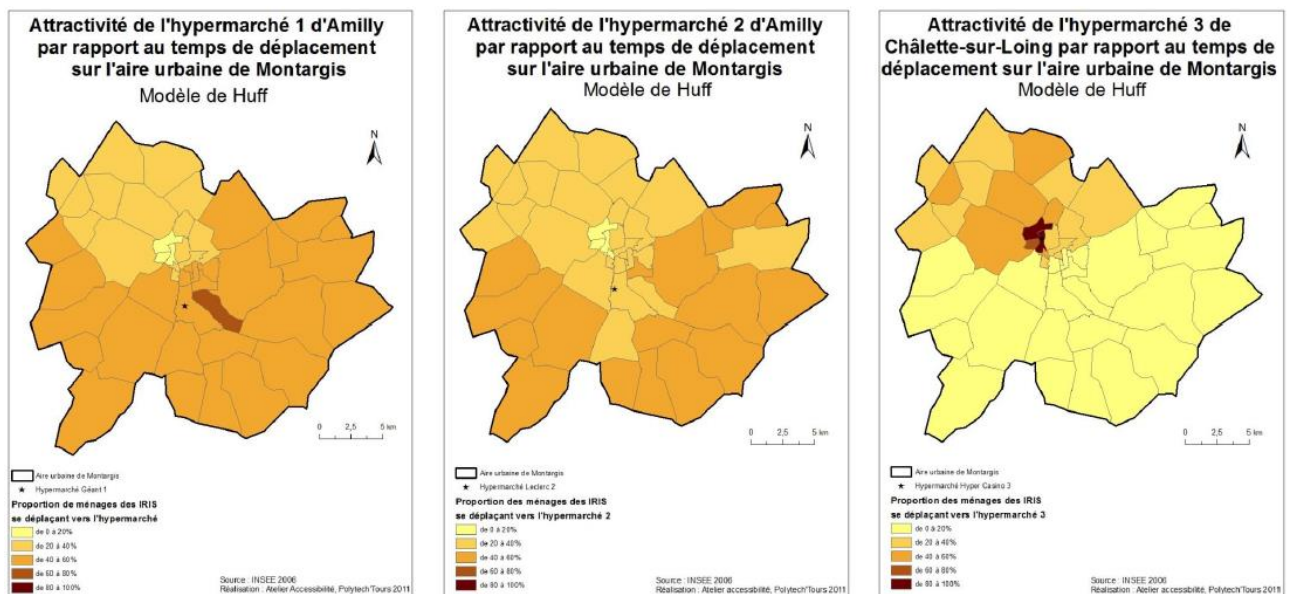
C'est pourquoi, Huff a créé son modèle pour intégrer les occasions interposées et faire entrer en ligne de compte les interactions concurrentielles, afin d'en faire un modèle probabiliste, à la différence des modèles gravitaires ou de Hansen qui, eux, sont déterministes.

Ce type de mesures a été utilisé dans l'atelier de travail T.R.U.C. de 2011 [GANE, 2011] où les étudiants ont cherché à calculer l'accessibilité des trois hypermarchés de l'agglomération Montargoise :

$$P_{ij} = \frac{O_{ij}}{\sum O_{ij}} \text{ où : } O_{ij} = \frac{A_j}{d_{ij}^\beta$$

avec P_{ij} la probabilité de se rendre dans l'hypermarché j à partir de la zone i , O_{ij} l'opportunité que représente l'hypermarché j pour la zone i , A_j le critère d'attraction, d_{ij} la distance-temps séparant l'hypermarché de la zone i et β le frein au déplacement.

Celui-ci permet d'estimer, en fonction d'un critère d'attractivité, la probabilité que les clients présents sur une zone aient à se déplacer à l'hypermarché. L'accessibilité du lieu est utilisée comme dénominateur, élevé à une puissance β représentant le frein au déplacement, elle rend un lieu plus ou moins attractif s'il est plus ou moins accessible au sein du territoire. Cette méthode est utilisée pour des études de prospection avant l'implantation de grandes enseignes ou de centres commerciaux. Elle correspond mieux à cette catégorie de calcul d'accessibilité car elle a l'avantage de prendre en compte l'interaction des masses en présence (ici les hypermarchés), à l'inverse du modèle gravitaire simple qui, lui, élude toute interaction concurrentielle entre les lieux-origine et les lieux-destination.



Carte 7 - Cartes représentant le modèle de Huff pour des hypermarchés

c. Accessibilité basée sur l'individu

C'est l'accessibilité à l'échelle de l'individu. Ce modèle a théoriquement beaucoup d'avantages car il satisfait tous les critères théoriques (il tient compte du changement de transport, est sensible aux contraintes temporelles et prend en compte les besoins individuels). Cependant, il est moins approprié à l'analyse de l'accessibilité d'un territoire. De plus, il présente des faiblesses pour l'opérationnalisation et la communication.

d. Accessibilité utile

L'accessibilité utile analyse le bénéfice que peut tirer un individu à se rendre dans des activités distribuées spatialement grâce à un mode de transport donné [BANISTER, 2001]. On la trouve principalement dans les théories économiques [GEURS, 2004].

On peut citer les travaux de Domencich et McFadden [DOMENCICH, 1975] qui ont mis au point une fonction d'utilité :

$$U = -0,147.TW - 0,0411.TT - 2,24.C$$

Où U est l'utilité, TW le temps de marche total (en minutes), TT le temps de trajet total (en minutes) et C le coût du voyage (en dollars).

On observe que le coût du voyage est le critère le plus important pour un individu, suivi du temps de marche à pied et du temps total. Cela se comprend aisément car les deux principaux critères imputent une perte palpable pour l'individu (perdre d'argent, ou de confort).

Cette fonction explique à 93 % les choix en termes de transport effectués par un individu (voiture ou bus ? bus ou marche à pied ? etc.). Et en étudiant le ratio entre les différents coefficients au sein de l'équation, on se rend compte que l'individu serait prêt à payer 1,1\$ pour réduire son temps de trajet d'une heure ($-0,0411 / -2,24 = 0,0183$ \$ par minute [VANDENBULCKE, 2007]).

On peut comprendre tout l'intérêt de l'étude de l'accessibilité utile sur la répartition modale des transports, notamment en milieu urbain, et ce afin de connaître quels sont les principaux critères sur lesquels il faut insister pour améliorer un service de transport en commun, par exemple.

Cependant ces mesures restent relativement complexes à interpréter et font, pour la plupart, appel à des notions très complexes de théories économiques et sociologiques [VANDENBULCKE, 2007]. De plus, elles nécessitent des données exhaustives et de haute qualité sur les comportements des individus et leur manière à prendre des décisions ; ces mesures sont donc très localisées et peu généralisables.

Synthèse

De nombreuses études ont ainsi été réalisées avant ce projet, la question de l'accessibilité est donc, depuis plus d'un demi-siècle, ancrée dans les problématiques liées à la croissance urbaine.

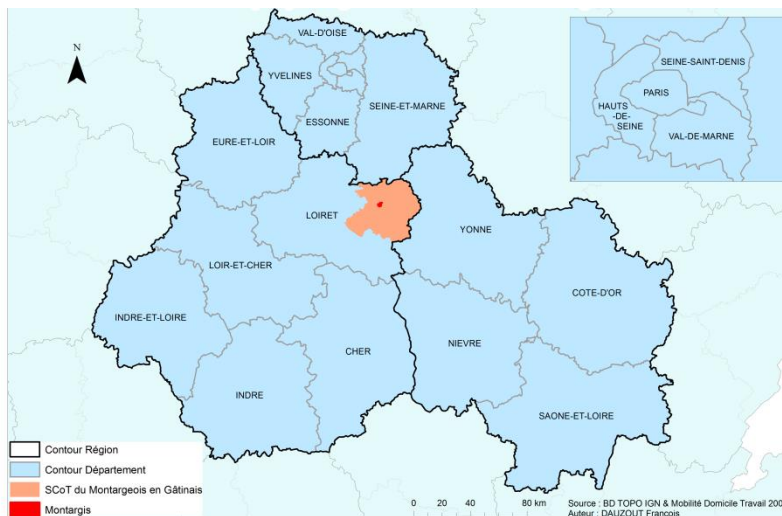
Nous allons étudier les outils disponibles afin de calculer l'accessibilité et apporter notre contribution au travers l'application de différents modèles sur un cas concret.

L'objectif de ce projet de fin d'étude étant dans un premier temps d'étudier quels sont les déterminants pour aboutir à l'élaboration du calcul de l'accessibilité et dans un second temps au travers l'étude du modèle de Huff et du modèle gravitaire de conclure sur l'intérêt d'étudier les différentes composantes de l'accessibilité. Cette étude pourra alors fournir un premier exemple réitérable sur un autre territoire afin de démontrer l'intérêt de la création d'un outil de calcul de l'accessibilité pour l'aide à la décision en aménagement du territoire.

Présentation du territoire

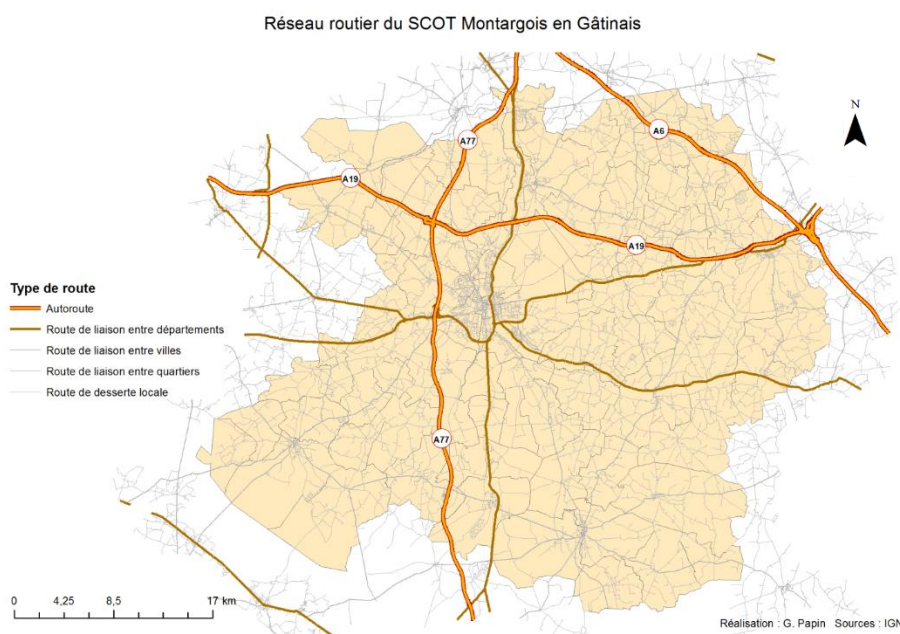
Localisation

Montargis, et le territoire du SCoT Montargois en Gâtinais se situe au carrefour de la région Centre, Bourgogne et Île-de-France. Cet emplacement géographique d'intérêt s'est traduit historiquement par l'implantation d'infrastructures de transport ferroviaire, fluvial et plus tardivement routier (A77, A19, A6, RN60 et RN7), mais également d'entreprises de logistiques ou d'industries cherchant un lieu central en France. Enfin, il s'agit d'un territoire surtout tourné vers l'Île-de-France et le bassin parisien, Montargis étant à 120 km au sud de Paris.



Carte 8 - Un SCoT au carrefour de la région Centre, Bourgogne et Île-de-France

Le périmètre d'étude



Carte 9 - Le périmètre d'étude et le réseau routier

Le périmètre d'étude est donc le SCoT Montargois en Gâtinais, composé de 83 communes et de 12 144 actifs¹.

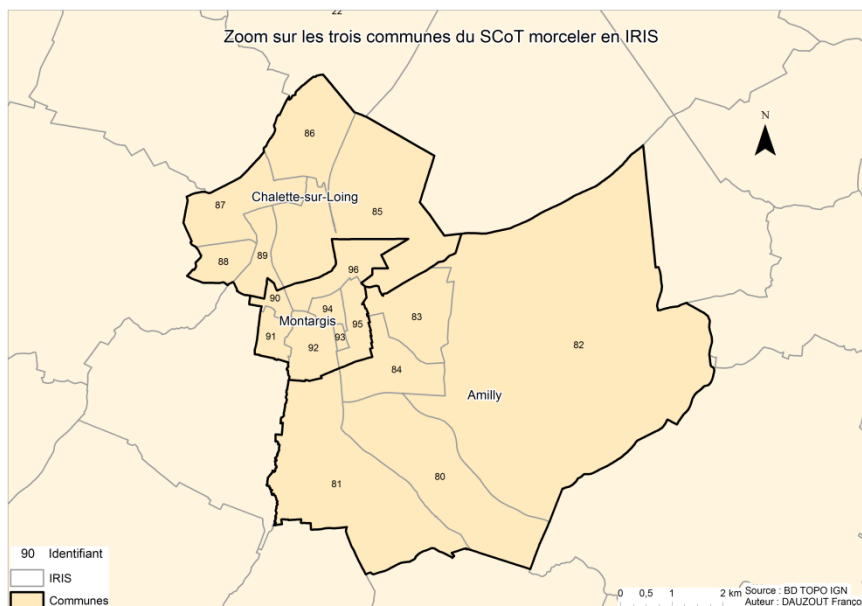
Cependant, afin d'obtenir des calculs fiables d'accessibilité, le réseau routier a été étendu à une ceinture de communes bordant le SCoT, cela permettant de trouver les plus courts chemins qui passeraient par l'extérieur du territoire.

¹ INSEE, 2008

IRIS

Pour les besoins des calculs, et afin d'avoir plus de précision, nous avons travaillé à l'échelle infra communale, c'est-à-dire à l'échelle des IRIS. De plus, aucun des travaux effectués dans le cadre du projet T.R.U.C n'ont été réalisés à ce niveau.

Néanmoins, sur les 83 communes qui composent le territoire du SCoT, seule trois communes sont irisées, il s'agit d'Amilly (5 IRIS), de Chalette-sur-Loing (5 IRIS) et enfin de Montargis (7 IRIS).



Carte 10 - Agrandissement sur les trois communes irisées

Définition : Un IRIS ou Îlot Regroupés pour l'Information Statistique est un découpage communal faisant référence à la taille visée de 2 000 habitants par maille élémentaire.

Certaines communes ne rassemblent pas assez d'habitants sur leur territoire, de ce fait le périmètre de la commune est confondu avec le périmètre de l'IRIS.

Accessibilité et Systèmes d'Informations Géographiques

Cette partie a été réalisée par Virgile Legrand

Pour calculer l'accessibilité sur un cas précis, il est nécessaire de disposer dans un premier temps d'un réseau routier qui servira de support au calcul de cette accessibilité. Les calculs s'effectuent généralement à l'aide d'outils de type SIG et nécessitent donc, en entrée, une modélisation du réseau. Plusieurs logiciels permettent de réaliser ces calculs, nous nous sommes focalisés sur l'utilisation et les spécificités du logiciel ArcGIS.

Comme établi dans la partie précédente, l'accessibilité infrastructurelle permet de qualifier la qualité d'un réseau, ainsi à l'aide des fonctionnalités d'ArcGIS, nous allons dans un premier temps voir comment l'on définit un réseau, quelles sont ses caractéristiques, quelles sont leur influences et par la suite voir quels résultats l'on peut observer en termes d'accessibilité infrastructurelle.

Accessibilité et Systèmes d'Information Géographiques

a. Les systèmes d'informations géographiques

Définition : Un **SIG** ou **Système d'Information Géographique** est un système informatique constitué de matériels, de logiciels et de processus assurant la collecte, la manipulation, l'analyse et la modélisation de données spatialement référencées ou géo référencées.

Dans cette partie nous définirons dans un premier temps ce que sont les SIG, puis nous développerons le choix du logiciel ArcGIS.

Définition

L'objectif d'un SIG est d'aider les organisations dans la résolution de problématique de gestion d'aménagement d'un territoire.

Le Système d'Information Géographique permet de stocker, manipuler, gérer et analyser des données de façon à pouvoir en extraire facilement des synthèses utiles à la prise de décision.

Ce système permet de conserver, mettre à jour, extraire et communiquer des données spatiales, utilisées pour décrire la réalité. La représentation est généralement en deux dimensions, sous forme de carte ou de plan type cadastre.

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants majeurs :

a) **Les logiciels :** Ils assurent six fonctions majeures :

- *L'Acquisition* : c'est la saisie des informations géographiques sous forme numérique
- *L'Archivage* : c'est la gestion de base de données
- *L'Analyse* : c'est la manipulation et l'interrogation des données géographiques
- *L'Affichage* : c'est la mise en forme et la visualisation
- *L'Abstraction* : c'est la représentation du monde réel
- *L'Anticipation* : c'est la prospective

- b) **Les données** : Les données géographiques sont importées à partir de fichiers ou saisies par un opérateur. Une donnée est dite « géographique » lorsqu'elle fait référence à un (ou plusieurs) objet(s) localisé(s) à la surface de la Terre.
- c) **Les matériels informatiques** : Le traitement des données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur de bureau ou sur un ordinateur durci directement sur le terrain. L'ordinateur de terrain avec GPS et laser télémètre permet la cartographie et la collecte des données simultanément.
- d) **Les savoir-faire** : Un système d'information géographique fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire, et donc divers métiers, qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes (cartographe, programmeur, géomaticiens ...)
- e) **Les utilisateurs** : Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques, est généralement celui de technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels.

Remarque : Par la suite nous nous focaliserons sur les aspects **données et logiciels**, nous verrons quelles sont les fonctions du logiciel ArcGIS répondant aux questions liées à l'accessibilité, quels types de données doivent être utilisés et quelles modifications peuvent y être apportées.

ArcGIS

Le choix de travailler avec ArcGIS se justifie dans un premier temps car il est l'un des logiciels les plus complets en matière de SIG, sa fiabilité et sa mise à jour fréquente font de lui un des logiciels les plus recommandés internationalement pour les questions de géomatique.

Il est également très utilisé par les étudiants et les professionnels. Et c'est également avec celui-ci que nous avons eu un premier aperçu de la géomatique. Cependant il existe également d'autres logiciels permettant d'effectuer ses calculs, on peut citer par exemple OSM (open data) ou QuantumGIS qui a été étudié superficiellement, afin d'avoir une comparaison avec un logiciel en Open Source et donc accessible à tous.

ArcGIS est développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute) qui a été fondée en 1969, par Jack Dangermond) en tant que compagnie de consultants en aménagement du territoire.

Afin de traiter des problématiques liées à l'accessibilité, nous avons utilisé l'extension ArcGIS Network Analyst. Avec cette extension, nous pouvons modéliser des réseaux de transport et les analyser et ainsi travailler sur la question de l'accessibilité en utilisant les fonctions définies par la suite.

Quels sont donc les déterminants des calculs d'accessibilité sous le logiciel ArcGIS ?

b. Données en entrée

Avant d'aborder en détails les fonctions du logiciel, il nous faut avoir l'assurance de travailler avec les bonnes données et donc avoir une représentation la plus fiable possible du territoire étudié.

ArcGIS Network Analyst classe les réseaux en deux catégories :

- Les réseaux géométriques qui sont des réseaux orientés (bassin versant, réseau d'assainissement)
- Les jeux de données réseau qui sont non orientés et donc s'adaptant aux réseaux de transports.

Remarque : Par conséquent, dans le cas des calculs d'accessibilité nous travaillerons toujours avec des jeux de données réseau. Ainsi on pourra alors définir les sens d'utilisations des différentes voies ou encore les demis tours autorisés.

En effet les réseaux de transport (routiers, ferroviaires, etc.) permettent de se déplacer sur des tronçons dans les deux sens. L'agent qui se trouve sur le réseau est généralement libre de décider de la direction du parcours et de la destination (sauf dans le cas d'un sens unique).

Calculer une accessibilité nécessite de disposer d'une table du réseau à parcourir comportant une topologie de graphe. C'est à dire que chaque tronçon du réseau doit avoir un nœud initial et un nœud final et tous les nœuds doivent être connectés entre eux. Ainsi, un tronçon représente la relation qu'il y a entre deux nœuds.

Ces données réseaux sont disponibles sur le site de l'IGN. On y retrouve les données ROUTE 500 qui répertorient les 500 000 kms routiers du territoire français. Ces données sont sous-divisées en deux catégories de données :

- Les données **Tronçons**
- Les données **Nœuds**

Chaque tronçon est marqué par son nœud d'origine et son nœud de destination. Par conséquent un sens lui est attribué. Deux tronçons connectés doivent donc posséder un nœud en commun pour définir un réseau topologique.

Remarque : Sachant qu'en topologie [CALOZ, 2011], un réseau est défini comme étant un ensemble d'objets linéaires interconnectés.

Ces données traitées telles quelles ne suffisent pas dans tous les cas, on peut avoir à y apporter des modifications, comme par exemple une modification du nombre de voies, du sens, ou encore et surtout y ajouter **l'attribution d'une vitesse au type de tronçons**.

Les relations entre tronçons seront donc les caractéristiques du réseau, afin d'obtenir les résultats les plus pertinents, la phase de création du réseau et sa modification devient la plus importante et déterminera les calculs effectués par la suite.

Par exemple, comme décrit en topologie de réseau, la notion de distance est variable, ici la distance entre deux nœuds ne sera pas la distance euclidienne mais elle sera définie par la nature du réseau. La distance entre deux nœuds du réseau sera donc calculée comme étant la somme des longueurs des tronçons participant au chemin reliant les deux nœuds. Si l'on choisit un mode de transport, certaines restrictions devront donc être appliquées et le chemin le plus court prendra en compte les sens uniques et autres restrictions.

Ces données seules peuvent aussi ne pas suffire pour traiter d'un certain type d'accessibilité, on peut avoir à utiliser par exemple les données INSEE de flux domicile-travail, ou encore les données de surfaces des sols afin de caractériser l'attractivité d'un lieu.

Ces données, une fois modifiées et enregistrées, vont donc pouvoir être traitées par le logiciel SIG nous allons voir quelles sont les possibilités en matière de calcul d'accessibilité avec le logiciel ArcGIS.

c. Accessibilité et fonctions d'ArcGIS Network Analyst

L'extension Network se compose de 6 fonctions :

- **Nouvel itinéraire**
- **Nouvelle zone de desserte**
- **Nouvelle ressource la plus proche**
- **Nouvelle matrice de coût OD**
- **Nouvelle tournée de véhicule**
- **Nouvel emplacement-allocation**

Nouvel itinéraire

Cette fonction répond à la question suivante : quel est le chemin le plus rapide pour se rendre d'un point A à un point B ?

Elle fournit un itinéraire détaillé du chemin le plus court entre deux points du réseau et fournit le temps du parcours et la distance totale parcourue. Cela s'observe en sortie par une feuille de route détaillée avec les indications pour chaque changement de tronçons.

Remarque : Elle permet donc de calculer les chemins minimaux en fonction des données du réseau, ses caractéristiques topologiques vont donc influencer les distances temps.

Elle fournit donc le chemin optimal pour joindre deux points en prenant comme coût la temporalité.

Fonctionnement :

Cette fonction crée une liste d'arrêts, une liste d'itinéraire et une liste de barrière toutes trois vides. Les arrêts déterminant les lieux de passages de l'itinéraire (coordonnées géographiques) et l'itinéraire informant les détails du trajet.

Pour créer un arrêt il suffit de cliquer sur l'icône « Créer un emplacement de réseau » dans la barre menu de Network Analyst, puis cliquer sur la carte à l'endroit où l'on souhaite ajouter un arrêt.

Ensuite, il faut régler les paramètres caractérisant le trajet. Pour cela il faut cliquer sur l'icône « Propriétés » de la fenêtre Network Analyst. Puis aller dans l'onglet « Paramètres d'analyse ». On peut alors ici régler les caractéristiques du trajet, en fonction du réseau créé précédemment.

On peut y autoriser ou non les demi-tours avec l'onglet « Demi-tours aux jonctions ». On définit les sens de circulation, l'heure du trajet et les unités de mesures distance et temps.

De plus, la tolérance est un paramètre important, il permet d'autoriser une certaine distance de marge entre le réseau et le point créé manuellement afin d'obtenir un accrochage entre le point créé et le réseau.

Figure 2 - Propriétés de la fonction nouvel itinéraire

Enfin, il faut lancer le processus pour calculer le trajet. Une polyligne est dessinée sur la carte pour matérialiser le chemin le plus court (en temps).

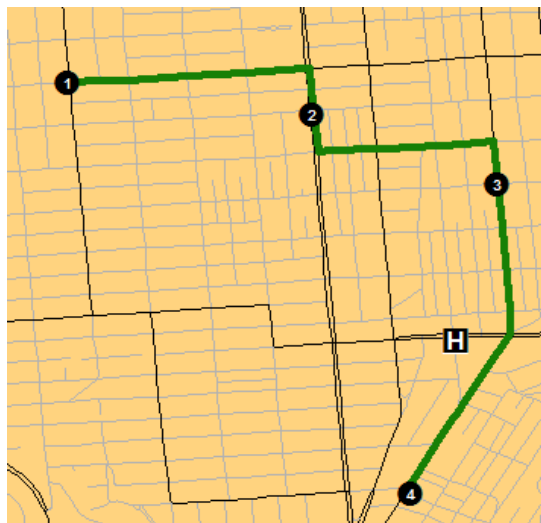


Figure 3 - Exemple d'itinéraire

Remarque : Le premier arrêt créé sera considéré comme étant l'origine de l'itinéraire et le dernier sera considéré comme étant la destination. On peut donc créer un itinéraire avec autant d'étapes que l'on souhaite pour, par exemple, représenter le trajet souhaité d'une ligne de bus.

On notera également que le point 1 est l'origine du trajet et le point 4 la destination.

Le tracé de l'itinéraire suit bien le réseau routier emprunté, ainsi on peut suivre graphiquement les tronçons utilisés et le passage par les arrêts 2 et 3.

On peut afficher la feuille de route en faisant un clic droit sur la polygline puis « Feuille de route ».

[-] Itinéraire : Élément graphique 1 - Élément graphique 4		2,1 mi	4 min	Carte	⤴
1:	Départ : Élément graphique 1			Carte	
2:	Aller Est sur 20th St vers Castro St	0,5 mi	< 1 min	Carte	
3:	Prendre à droite sur Dolores St	0,1 mi	< 1 min	Carte	
4:	Arriver à Élément graphique 2, sur la droite			Carte	
5:	Départ Élément graphique 2				
6:	Continuer Sud sur Dolores St	< 0,1 mi	< 1 min	Carte	
7:	Prendre à gauche sur 22nd St	0,4 mi	< 1 min	Carte	
8:	Prendre à droite sur Mission St	0,1 mi	< 1 min	Carte	
9:	Arriver à Élément graphique 3, sur la droite			Carte	⤵

Figure 4 - Exemple de feuille de route

Celle-ci définit la feuille de route précise de l'itinéraire créé et permet de renseigner les changements de direction à chaque nouveau nœud. Cet outil nous donne à la fois la distance totale parcourue mais aussi le temps de parcours nécessaire pour rejoindre les arrêts. La réalisation de cette fonction est rapide et a un intérêt fort pour déterminer les chemins minimaux entre deux points à l'aide de l'algorithme Dijkstra, qui fournit le temps de parcours minimal.

Remarque : Cette fonction est donc la fonction de base de Network Analyst, mais elle utilise une fonction primordiale qui est le calcul des chemins minimaux. Par la suite cette outil est également utilisé par les autres fonctions (zone de desserte, nouvelle ressource la plus proche, matrice OD...). Pour calculer l'accessibilité, le réseau utilisé est le principal déterminant et grâce au calcul de ce chemin, on commence à avoir une première approche de la proximité entre chaque point du réseau et donc de l'accessibilité infrastructurelle.

Nouvelle zone de desserte

Cette fonction permet de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les zones géographiques qui se trouvent à cinq minutes, dix minutes... d'un certain point ? Ainsi, on peut observer par exemple quelles sont les zones d'habitations étant dans un certain rayon d'attraction d'un certain commerce.

Elle permet donc de créer des zones de chalandises par l'intermédiaire de cartes isochrones à partir d'un point particulier.

Fonctionnement :

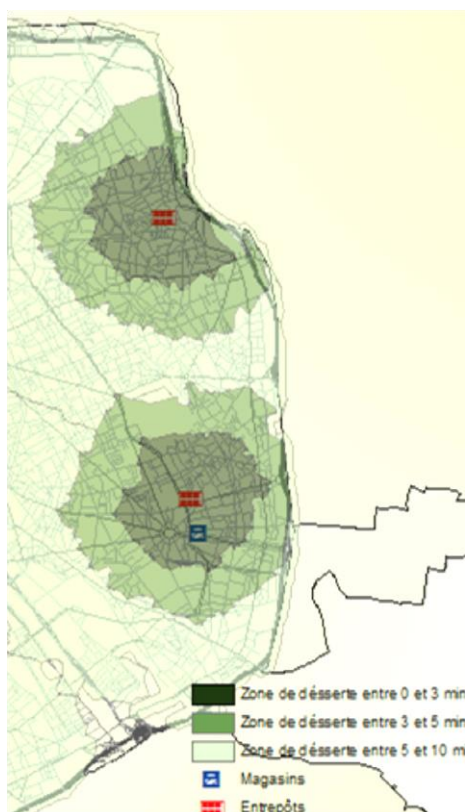
Cette fonction crée des listes vides appelées ressources, interruptions, lignes, et polygones. Ensuite, il faut charger les localisations en faisant un clic droit sur la liste « Ressources » puis « Charger des emplacements », les ressources sélectionnées sont ensuite rajoutées dans la liste des ressources et cartographiées.

Il faut par la suite aller dans « Propriétés » pour renseigner les bornes des aires de service (ici 3,5 et 10 minutes), il faut aussi choisir si l'on calcule ces aires de services depuis la ressource ou vers la ressource.

Génération de lignes		Accumulation	Emplacements du réseau	
Général	Couches	Source	Paramètres d'analyse	Génération de polygones
Paramètres			Restrictions	
Impédance : Drivetime (Minutes) Bornes par défaut : 3; 5; 10 ☐ Temps d'utilisation : Heure du jour : 08:00 ☒ Jour de la semaine : Aujourd'hui ☐ Date spécifique : 09/05/2014 Direction : ☒ Depuis la ressource ☐ Vers la ressource Demi-tours aux jonctions : Autorisé ☐ Utiliser la hiérarchie ☒ Ignorer les emplacements non valides			☒ Oneway	

Figure 5 - Propriétés de la fonction nouvel zone de desserte

On obtient donc si l'on a coché « Depuis la ressource » des polygones définissant les aires de service étant comprises dans un intervalle de temps donné à partir de la ressource. Si l'on entre la valeur 3 (avec en impédance minutes), on aura un polygone définissant la zone couverte depuis la ressource en un temps compris entre 0 et 3 minutes.



Cette fonction est bien entendu plus longue que la fonction précédente car elle nécessite un calcul des chemins minimaux dans toutes les directions.

On obtient donc des cartes isochrones nous permettant de déterminer par exemple quelle population est couverte par un certain service et en combien de temps.

En aménagement du territoire cela peut permettre de connaître quelle est la position idéale d'un service pour satisfaire une certaine population.

Remarque : Cette fonction peut donc être très utile pour qualifier la qualité d'un réseau à partir d'un point qualifié de centre. En effet la limite de ce calcul est d'afficher une série de cercles concentriques.

Figure 6 - Exemple de zones de desserte

Nouvelle ressource la plus proche

Elle permet de répondre à la question : Une personne souhaite passer à un point de vente. Quel est celui auquel l'individu devra se rendre pour avoir un temps de trajet réduit ? Ou l'inverse : Quelles sont les ambulances ou les voitures de police... qui peuvent se rendre le plus rapidement possible sur un lieu d'accident ?

Fonctionnement :

Cette fonction crée une nouvelle liste appelée **ressource**.

Il faut charger les infrastructures en faisant un clic droit sur la liste « Ressources » puis « Charger des emplacements ». Les entités sélectionnées sont alors rajoutées dans la liste des ressources et cartographiées sur la carte. Les ressources seront alors les points vers lesquels les calculs de distances seront faits par rapport à l'incident.

Ensuite, en cliquant droit sur la liste incidents, on ajoute à l'aide de l'icône « Créer un emplacement de réseau » un nouvel incident qui déterminera donc l'origine des calculs jusqu'aux ressources les plus proches. Il faut après déterminer les propriétés des calculs (comme vu précédemment pour l'outil nouvel itinéraire) en allant dans les propriétés.

Paramètres

Impédance : Minutes (Minutes)

☐ Temps d'utilisation :

Utilisation : Heure de début

Heure du jour : 08:00

☒ Jour de la semaine : Aujourd'hui

☐ Date spécifique : 09/05/2014

Valeur limite par défaut : 3

Ressources à rechercher : 4

Trajet :

☒ Incident vers ressource

☐ Ressource vers incident

Demi-tours aux jonctions : Autorisé

Type de forme en sortie : Géométrie réelle

☐ Utiliser la hiérarchie

☒ Ignorer les emplacements non valides

Restrictions

☒ Oneway

Feuille de route

Unités de distance : Milles

☒ Utiliser l'attribut de temps

Minutes (Minutes)

☐ Ouvrir automatiquement la feuille de route

Figure 7 - Propriétés de la fonction nouvelle ressource la plus proche

Ici deux informations sont nouvelles et importantes, la « valeur limite par défaut » définit le temps limite de parcours (ici en minutes) et les « ressources à rechercher » qui définit le nombre maximum de ressources à rechercher afin d'effectuer une comparaison sur un nombre limité de ressources. En lançant le processus on obtient alors graphiquement les trajets reliant la ressource aux ressources les plus proches en termes de distance temps.

Remarque : Cette fonction est donc fondamentalement similaire à la fonction nouvel itinéraire car elle calcule les plus courts chemins pour aller d'un point vers plusieurs autres et les compare ensuite pour obtenir la ressource la plus proche.

Et en cliquant droit sur la liste itinéraire, on peut comparer les différents itinéraires afin d'observer quel est la ressource la plus proche. En effet la colonne « Total Minutes » nous indique précisément le temps de parcours de chaque itinéraire et ainsi on peut trouver quelle est la ressource la plus proche par rapport à l'incident.

ObjectID	Shape	FacilityID	FacilityRank	Name	IncidentCurbApproach	FacilityCurbApproach	IncidentID	Total Minutes
1	Polyligne M	11	1	Élément graphique 1 - Station 12	Côté droit du véhicule	Côté droit du véhicule	1	1,190673
2	Polyligne M	19	2	Élément graphique 1 - Station 20	Côté droit du véhicule	Côté gauche du véhicule	1	1,928948
3	Polyligne M	5	3	Élément graphique 1 - Station 6	Côté droit du véhicule	Côté droit du véhicule	1	2,652077

Figure 8 - Exemple de table attributaire d'itinéraires nouvelle ressource la plus proche

Cette fonction peut permettre donc de répondre à des questions de sécurité comme les gestions des incendies par les SDIS. Mais elle peut également répondre pour une entreprise à quel est le distributeur le plus proche.

Nouvelle matrice de coût OD

La fonction matrice de coût OD permet de rechercher et calculer les plus courts chemins le long d'un réseau en ayant en entrée une listes d'origines et une liste de destinations. En sortie on obtient une matrice qui nous donne le temps de parcours pour chaque couple origine-destination, le résultat graphique étant moins important que pour le cas de la fonction ressource la plus proche ou nouvel itinéraire.

Fonctionnement :

La fonction matrice de coût OD crée des listes vides appelées origines, destinations, lignes, interruptions.

De la même manière il faut « charger les emplacements » pour les listes origines et destinations, afin de pouvoir définir les calculs à réaliser. Les propriétés du réseau peuvent de la même manière être modifiées selon le cas traité.

On obtient, par exemple si l'on a 21 destinations et 6 origines, une liste de 121 lignes. Celles-ci sont également affichées graphiquement mais ne présente qu'un faible intérêt puisqu'elles ne représentent que les distances linéaires et non les distances réseau.

Identifier depuis : <Couche supérieure>

☐ Lignes

Warehouse #3 - Emplacement 4

Emplacement : 602 831,357 2 425 578,210 Mètres

Champ	Valeur
ObjectID	48
Shape	Polyligne
Name	Warehouse #3 - Emplacement 4
OriginID	3
DestinationID	31
DestinationRank	6
Total_Drivetime	15,251133

Figure 9 - Propriétés des lignes Origine Destination

En cliquant droit sur la liste « Lignes » on peut alors observer la table attributaire qui est une matrice origine-destination. La colonne d'OriginID contient les identifiants des origines. La colonne de DestinationID contient les identifiants des destinations.

Ainsi dans la matrice OD on peut observer pour chaque couple origine destination le temps de parcours nécessaire pour rejoindre les deux points. De plus on peut s'intéresser à chaque origine et trouver quelle est la destination la plus proche. Si l'on clique droit sur une ligne, on peut observer l'affichage ci-contre, on nous donne donc le couple origine-destination concerné par la ligne ainsi que le temps nécessaire pour rejoindre ces deux points du réseau.

Le DestinationRank est un grade assigné à chaque destination desservie par une origine. Par exemple le grade 1 indique la destination la plus proche par rapport à l'origine référente.

Remarque : Les matrices Origine-destination sont donc des outils précieux en matière de calcul de l'accessibilité, on peut en extraire une quantité de données importantes mais les temps de calculs sont très longs. En obtenant les distances entre les points d'un réseau on peut alors ensuite effectuer les sommes des plus courts chemins d'un point vers tous les autres du réseau comme par exemple dans le cas de l'accessibilité généralisée. On peut également croiser ces résultats avec des données INSEE comme les flux domiciles-travail et travailler avec le modèle gravitaire ou encore déterminer un facteur d'attractivité tel que les surfaces commerciales afin de calculer une accessibilité de type Urban Planning.

Nouvelle tournée de véhicule

Cette fonction crée les listes vides dépôts, itinéraires, passages aux dépôts, interruptions, zones de tournées, points d'origine de tournée, relais de tournée, particularités, paires d'ordres. Elle est proche de la fonction nouvel itinéraire mais permet de choisir des ordres de passage préférentiels.

Nouvel emplacement-allocation

Cette fonction permet d'obtenir l'emplacement optimal par rapport à la situation géographique et le réseau donné. Elle crée des liste vides ressources, point de demandes et lignes et nécessite de rentrer les différentes ressources qui seront alors les emplacements dont on recherchera celui qui est considéré comme étant positionné de manière optimale par rapport aux points de demandes.

La table attributaire de la liste « lignes » est la suivante. On y retrouve les temps de parcours vers chaque point de demande. Cependant cette fonction nous calcule également les mêmes temps que la matrice OD mais en sortie ne nous affiche que la ressource optimale et donc ses temps minimaux.

ObjectID	Shape	Name	FacilityID	DemandID	Weight	TotalWeighted Drivetime	Total Drivetime
1	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #1	11	22	1	12,735109	12,735109
2	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #2	11	23	1	15,254799	15,254799
3	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #3	11	24	1	13,815855	13,815855
4	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #4	11	25	1	13,913987	13,913987
5	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #5	11	26	1	16,079713	16,079713
6	Polyligne	Emplacement 11 - Warehouse #6	11	27	1	18,050476	18,050476

Figure 10 - Exemple de table attributaire pour la ressource optimal

Synthèse

En définitive ArcGIS Network Analyst, permet d'obtenir un graphe topologique répondant aux caractéristiques du territoire et donc aux réseaux routiers. Les spécifications du réseau routier peuvent être saisies et modifiées à l'aide de cet outil, ce qui entraîne des résultats différents dans les calculs d'accessibilité infrastructurelle.

Ainsi ce logiciel permet de répondre à des questions d'aménagement du territoire en fournissant des données exploitables et des résultats visibles et concrets. Cependant des critères tels que l'occupation des sols, la temporalité et le comportement des agents restent difficiles à modéliser et ne sont pas forcément facilement pris en compte, les résultats peuvent être considérés comme trop théoriques. De plus lorsque l'on travaille avec une certaine quantité de données la réalisation des calculs peut devenir très longue.

L'accessibilité zonale, utilisation du modèle probabiliste

Cette partie a été réalisée par Guillaume Papin

Méthode(s)

a. Le modèle de Huff ou la nécessité d'un modèle probabiliste

Comme on a pu le voir précédemment dans l'état de l'art, une des composantes essentielles de l'accessibilité, et qui est pourtant souvent éludée, est l'occupation du sol. En effet, celle-ci impacte autant la source du flux (densité, type d'habitat, etc.) que sa destination (quelle activité, quel accès, etc.) et son transit (le long de quel environnement, ouvert ou fermé ? etc.)

C'est pourquoi dans cette partie du P.F.E. a été utilisé le modèle de Huff, permettant d'observer à une échelle mésoscopique les flux de population tout en répondant à différents critères de communicabilité et de faisabilité que sont la volonté d'avoir une approche plus réaliste que l'approche infrastructurelle, qui reste une approche très théorique, mais également plus succincte que l'approche individualiste, à l'exemple du modèle gravitaire ou des modèles multi-agents.

Le modèle de Huff, comme expliqué auparavant, tient à une simple équation tout en tenant compte de l'effet concurrentiel des masses en présence (magasins, zones d'emploi, loisirs, etc.).

$$P_{ij} = \frac{O_{ij}}{\sum O_{ij}} \quad \text{où : } O_{ij} = \frac{A_j}{d_{ij}^\beta}$$

Avec P_{ij} la probabilité de se rendre en j en partant de la zone i , O_{ij} l'opportunité que représente la zone j par rapport à la zone i , A_j l'attraction de la zone j , d_{ij} la distance/temps/coût entre les zone i et j , et β la pondération de la distance, représentant le frein au déplacement.

Trivialement, l'individu va aller plus facilement à un endroit proche qu'à un endroit éloigné, toutes choses égales par ailleurs. De plus, l'individu n'ira pas de façon égalitaire dans tous les lieux de l'environnement spatial auquel il accède, en effet, s'il dispose d'un hypermarché à proximité, les chances d'aller ailleurs s'amenuisent en fonction de la distance et de l'offre de cet hypermarché.

b. Le choix de l'attraction (A_j)

Afin d'avoir un modèle probabiliste fiable et représentatif de la réalité, il nous faut choisir le bon critère d'attraction A_j (par exemple pour les hypermarchés, il pourra s'agir de la surface commerciale).

Il nous a donc fallu décréter quelles seraient les composantes principales de l'activité d'une ville, ou d'un quartier, qui génèreraient des déplacements.

Ainsi, pour notre cas, nous avons essayé différents critères d'attraction, à savoir :

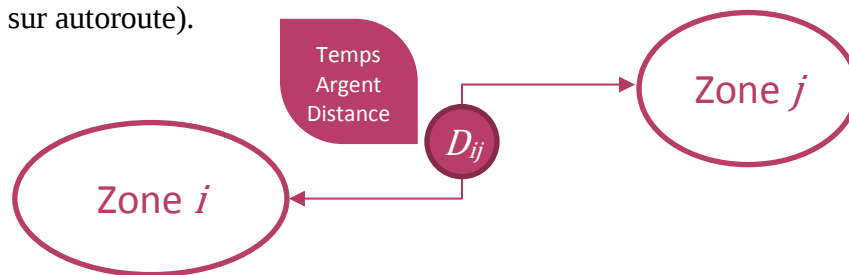
- La surface bâtie développée totale
- La surface bâtie développée commerciale
- La surface bâtie développée dans les Zones d'Activités
- Le nombre d'établissements, au sens de l'INSEE²
- Le nombre d'établissements ayant une activité commerciale
- Le nombre d'emplois par IRIS

Toutes ces données ont un point commun, elles sont présentes dans des bases de données accessibles (INSEE, IGN), sont exhaustives et peuvent représenter au mieux l'attraction des zones, notamment et principalement en termes d'emploi. Les autres motifs de déplacements ont été écartés par manque de base de données fiable, exhaustive et facilement exploitable et interprétable.

Enfin, il faut des valeurs empiriques (comptages, flux, etc.) afin de vérifier le modèle et de le calibrer ce qui n'est pas le cas pour beaucoup des motifs de déplacements (loisirs, santé, achats...).

c. Le choix de la distance séparant les zones (D_{ij})

Pour le d_{ij} , à savoir la distance (au sens géographique, temporel, ou économique) séparant deux zones i et j , le choix a été fait de raisonner en temps. En effet, la distance pouvant être trompeuse, car pour une distance minimale ne correspond pas forcément un temps minimal (exemple de la distance la plus courte en circulant sur route nationale contre distance plus longue mais temps plus court en circulant sur autoroute).



De plus, les personnes raisonnent quasi-unaniment en temps pour des trajets à l'échelle de la commune, ou de l'aire urbaine. Nous pouvons citer la constante de Zahavi qui postule qu'il existe une distance-temps maximale séparant le lieu d'emploi du lieu de vie des salariés et qui serait égales à une trentaine de minutes (soit une heure par jour en moyenne).

d. Le frein au déplacement (β)

Le frein au déplacement β a été fixé à 2, valeur généralement utilisée pour des études de cette sorte dans le contexte occidental.

e. Approches du modèle

Nous avons donc suivi le modèle de Huff, en divisant le critère d'attraction A_j par l'accessibilité d_{ij} à l'IRIS j en la pondérant par le frein au déplacement β . Pour ce faire, il nous a donc fallu déterminer un protocole afin d'obtenir la bonne approche, qui serait la meilleure application possible du modèle de Huff à notre cas.

² L'établissement est une unité de production géographiquement individualisée, mais juridiquement dépendante de l'entreprise. Un établissement produit des biens ou des services : ce peut être une usine, une boulangerie, un magasin de vêtements, un des hôtels d'une chaîne hôtelière, la « boutique » d'un réparateur de matériel informatique... L'établissement, unité de production, constitue le niveau le mieux adapté à une approche géographique de l'économie.

Nous avons donc suivi deux approches :

- **Approche « départ »**

L'approche dite « départ » consistait à calculer la probabilité qu'on aurait de se rendre dans un autre IRIS à partir d'un IRIS en particulier (le d_{ij} lie un couple d'IRIS) et de répéter la démarche autant qu'il y a d'IRIS (97 dans cette étude). Nous obtenions donc une série de 97 probabilités sur 97 IRIS origines, soit 9409 entrées, ou de quoi réaliser 97 cartes, une pour chaque IRIS d'origine. Il a donc fallu réussir à agréger ces résultats pour qu'ils deviennent exploitables. Pour cela, les probabilités d'arrivée dans chaque IRIS destination ont été sommées afin d'obtenir 97 « notes », de cette manière plus un IRIS était cité par les autres, mieux il était noté.

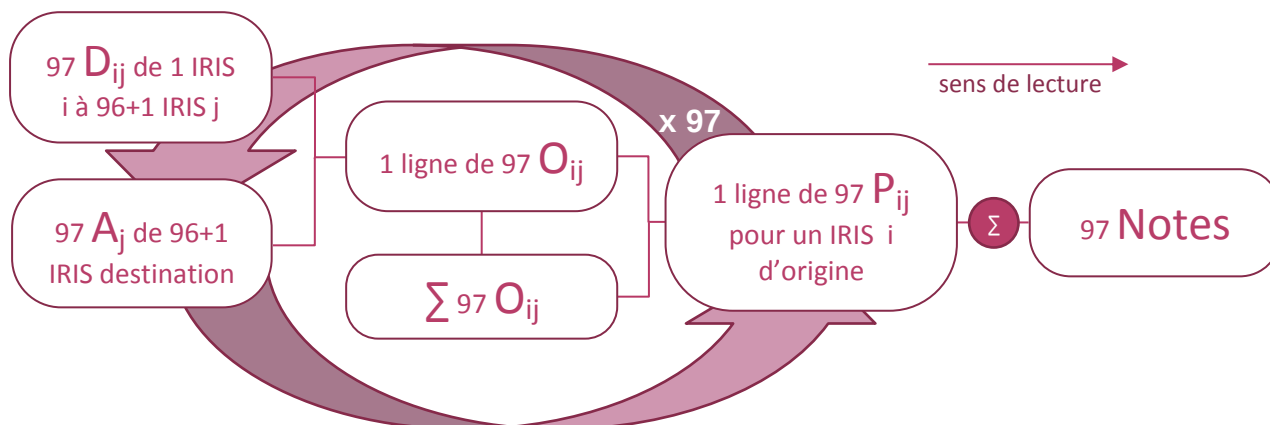


Figure 11 - Schéma explicatif de l'approche "Départ"

- **Approche « arrivée »**

L'approche dite « arrivée » diffère de la précédente car on utilise le temps d'accès total à l'IRIS j concerné comme d_{ij} et non plus le temps d'accès de cet IRIS aux autres. Nous traitons donc l'accessibilité des IRIS par rapport aux 97 autres, les calculs étant réalisés en simultanée, il n'y a qu'une seule phase. On obtient donc 97 P_{ij} entre 0 et 1 sans passer par l'agrégation des 9409 P_{ij} comme précédemment.

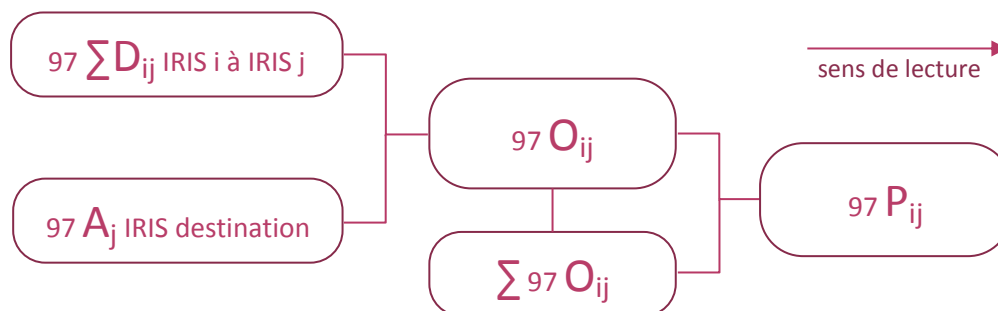


Figure 12 - Schéma explicatif de l'approche "Arrivée"

Remarque : La première approche, comme la seconde, tient compte de l'attraction interne de l'IRIS d'origine i , ainsi que de son D_{ij} intrinsèque, et ce afin d'obtenir des probabilités plus réalistes. En effet, il ne s'agit pas d'estimer seulement où vont les gens en dehors de leur IRIS d'origine, mais bien de connaître la part totale de déplacements que chaque IRIS peut générer.

C'est donc la seconde approche qui a été choisie, d'une part pour sa simplicité de mise en œuvre et de communicabilité, mais également car elle obtenait des résultats plus fiables que la première.

Résultats

a. Corrélations

Afin de vérifier ces travaux, il a fallu corrélérer les valeurs théoriques (P_{ij}) obtenues avec des valeurs empiriques observées sur le territoire d'étude.

Pour cela, les flux domicile-travail³ ont été utilisés comme corrélateurs. Étudiés grâce au logiciel XLstat, le total des flux reçus par chaque IRIS a été mis en relation avec la probabilité P_{ij} de chaque IRIS, et ce afin de calculer le coefficient de corrélation de Pearson de chaque P_{ij} , calculé à partir des A_j cités précédemment, et les flux domicile-travail totaux reçus.

Tableau 1 - Matrice de proximité (coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson)

Variables	Flux D-T totaux reçus	Surface bâtie dévpée	Surface bâtie dévpée en ZA	Surface commerciale bâtie dévpée	Nombre d'établiss ^t	Établiss ^t à activité commerciale	Nombre d'emplois
Flux D-T totaux reçus	1	0,874	0,589	0,431	0,889	0,868	0,877
Surface bâtie dévpée	0,874	1	0,789	0,439	0,775	0,713	0,918
Surface bâtie dévpée en ZA	0,589	0,789	1	0,427	0,381	0,346	0,832
Surface commerciale bâtie dévpée	0,431	0,439	0,427	1	0,278	0,363	0,439
Nombre d'établiss ^t	0,889	0,775	0,381	0,278	1	0,970	0,790
Établiss ^t à activité commerciale	0,868	0,713	0,346	0,363	0,970	1	0,735
Nombre d'emplois	0,877	0,918	0,832	0,439	0,790	0,735	1

On peut donc voir dans la matrice de proximité ci-dessus que les critères ont, très logiquement, une corrélation parfaite (égale à 1) entre eux, il faut bien entendu les écarter de l'analyse, tout comme les critères d'attraction entre eux, même si certains obtienne un facteur de corrélation très élevé (comme le nombre d'emplois par rapport à la surface bâtie développée), ceux qui nous intéressent se situent dans la première ligne (ou colonne).

³ Flux domicile-travail (INSEE, 2009)

En effet, il s'agit de l'intensité de liaison entre ces facteur d'attraction A_j et les flux domicile-travail reçus, ce qui permet de savoir s'ils sont fortement corrélés, et donc permettent de savoir à quel point le modèle de Huff adapté à notre cas peut être fiable.

On voit donc facilement que pour quatre critères sur les six, les facteurs de corrélation r sont forts (supérieurs à 0,86), ce qui signifie que le modèle est relativement fiable pour ces attractions-ci. À l'inverse, la corrélation n'est pas prégnante pour les deux autres.

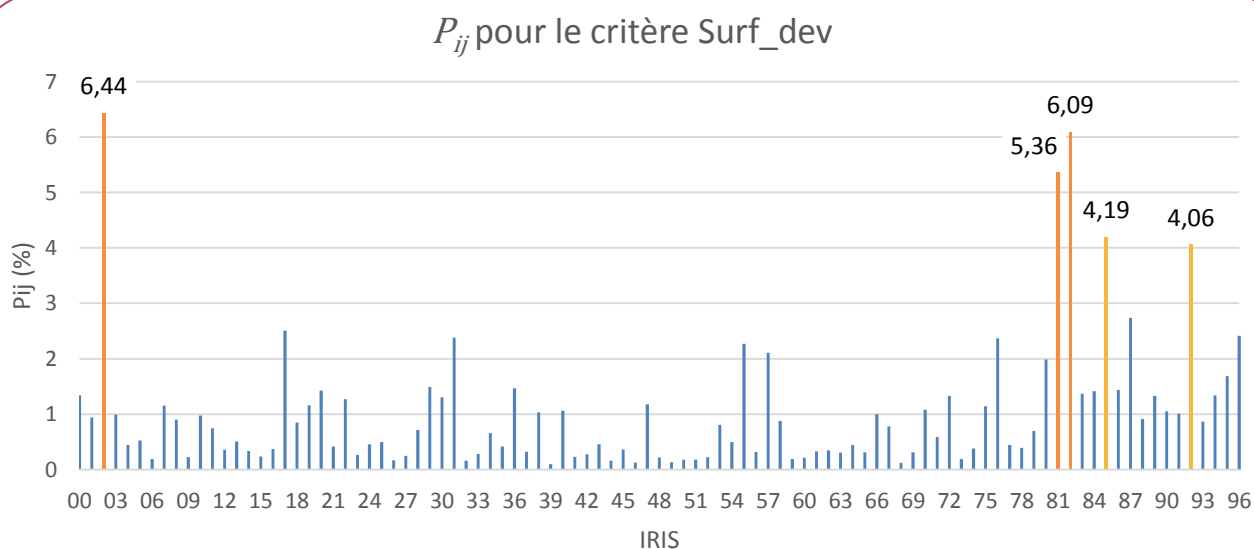
Remarque : Pour des soucis de simplicité, et d'exploitation des données, seuls les trois critères les mieux corrélés vont être traités dans la suite de cette partie de rapport. Il s'agit du nombre d'établissements, de la surface bâtie développée et du nombre d'emplois.

Qui plus est, on peut noter quelques petites incohérences car on peut voir notamment que le nombre d'emplois n'a pas la plus forte corrélation avec les flux domicile-travail reçus par chaque IRIS.

b. Critères d'attraction A_j

Les trois critères d'attraction A_j retenus sont donc les variables « Surface bâtie développée » (Surf_dev), « Nombre d'emplois » (Nb_emploi), et « Nombre d'établissements » (Nb_etab) qui donnent les probabilités les plus corrélées aux flux domicile-travail observés. Nous allons donc présenter ici les résultats du modèle probabiliste utilisé.

Critère « Surface bâtie développée » (Surf_dev)



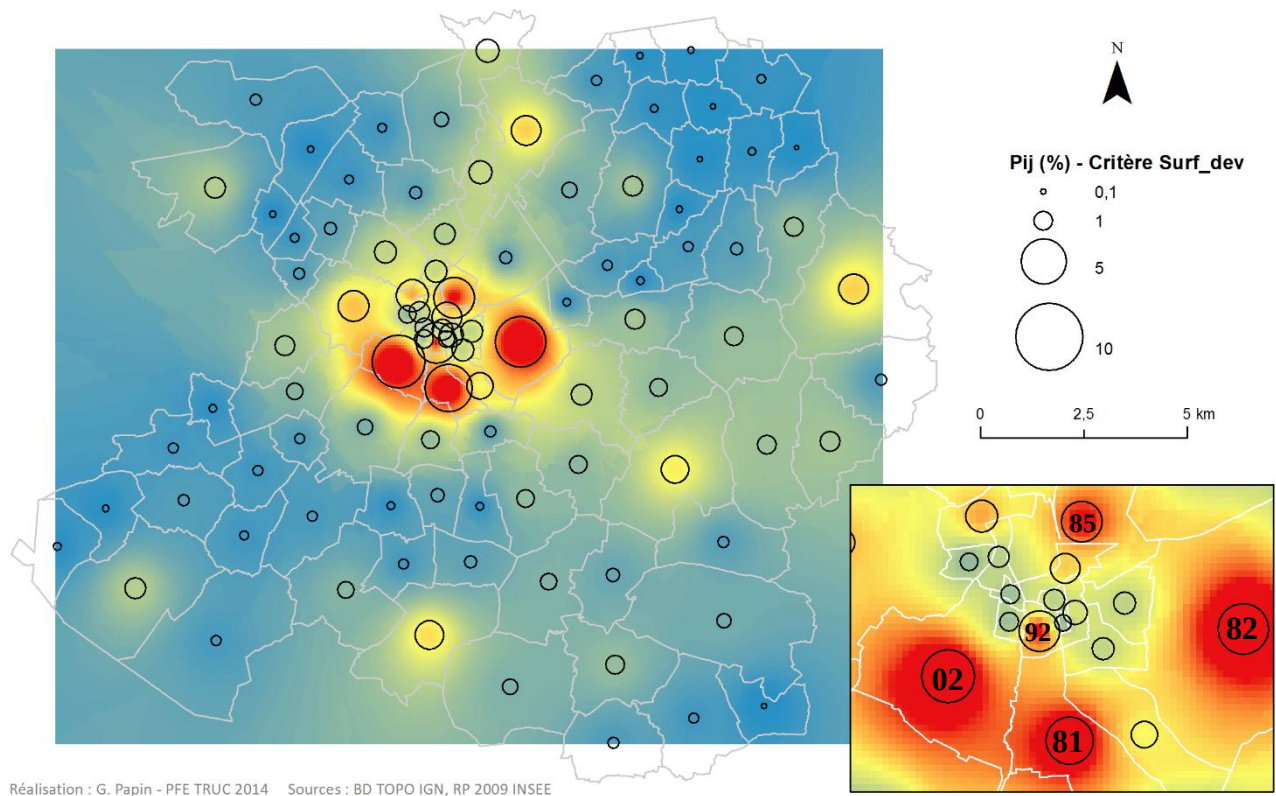
Graphe 1 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Surf_dev

Sur ce premier graphique nous pouvons voir que différents IRIS se démarquent, à l'exemple des IRIS 02, 81 et 82 dans un premier temps, et les IRIS 85 et 92 dans un second temps. En effet, ils dépassent respectivement des valeurs de P_{ij} supérieures à 5 % et des valeurs supérieures à 4 %.

Ceci peut paraître relativement faible, mais il faut comprendre que l'on traite 97 IRIS, ainsi, une probabilité de déplacement adéquatement répartie se situerait aux alentours de 1 %.

Conséquemment, en comparaison, des valeurs comme 5 % ou 6 % sont donc des valeurs très fortes (la valeur minimale est près de 69 fois inférieure à la valeur maximale).

De plus, on peut notifier que ces P_{ij} sont basées sur la surface bâtie, et celle-ci existe donc dans tous les IRIS, ce qui les répartit (ou étale) d'autant plus.



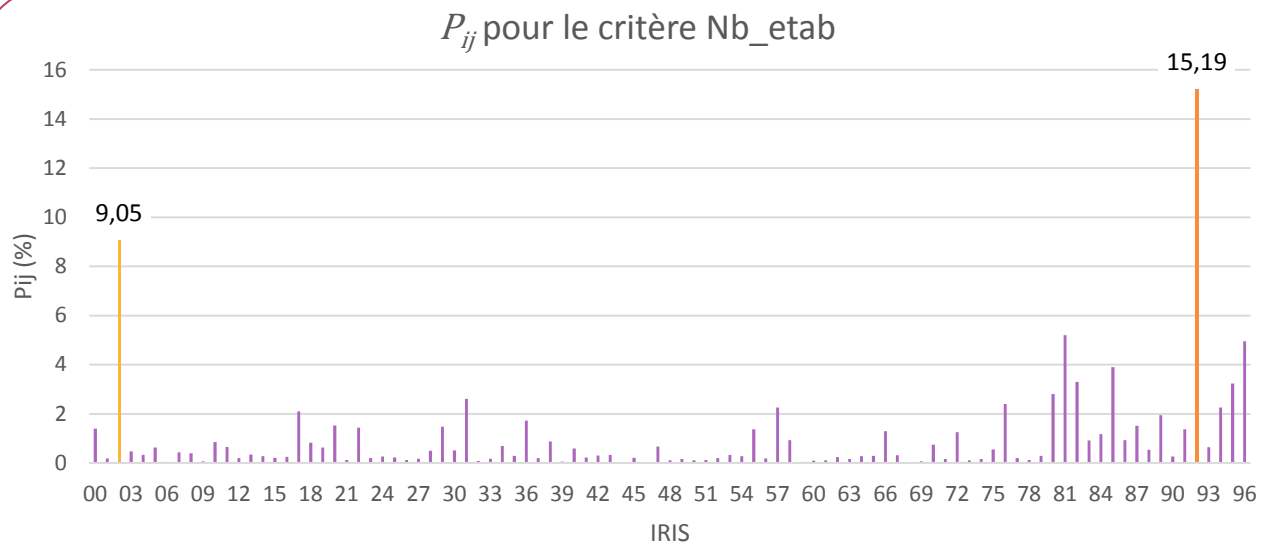
Carte 11 - Représentation des $P_{ij}(\%)$ et interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Surf_dev

Sur cette carte nous pouvons voir que les IRIS se démarquant dans le graphe précédent se situent tous au centre du SCOT montargois, à savoir les IRIS 02, 81, 82, 85 et 92, appartenant aux villes de Villemandeur (02), Mormant-sur-Vernisson (81), Amilly (82), Châlette-sur-Loing (85) et Montargis (92).

Cependant, on observe (en jaune) des pôles qui se démarquent par leur accessibilité supérieure à leurs voisins en bordure de SCOT.

Enfin, on observe des zones (en bleu) très peu bâties et peu accessibles d'un point de vue infrastructurel, qui se situent dans la périphérie du SCOT, mais également, dans l'hypercentre. Cela correspond à de petites communes mais également à des quartiers accueillant des surfaces bâties moins élevées (la surface urbanisée par habitant y est inférieure que dans les autres IRIS). On peut notamment penser à des logements relativement petits accueillant peu de personnes, comparativement à la périphérie où l'on peut construire de plus grandes surfaces pour le même nombre de personnes.

Remarque : Il faut préciser que ces résultats sont à interpréter avec prudence car ils dépendent de deux facteurs, l'attraction et l'accessibilité. Ainsi, deux lieux disposant d'une même accessibilité potentielle faible pourront être la cause de deux scénarii, soit un lieu bâti mais peu accessible, soit un lieu accessible mais non-bâti.

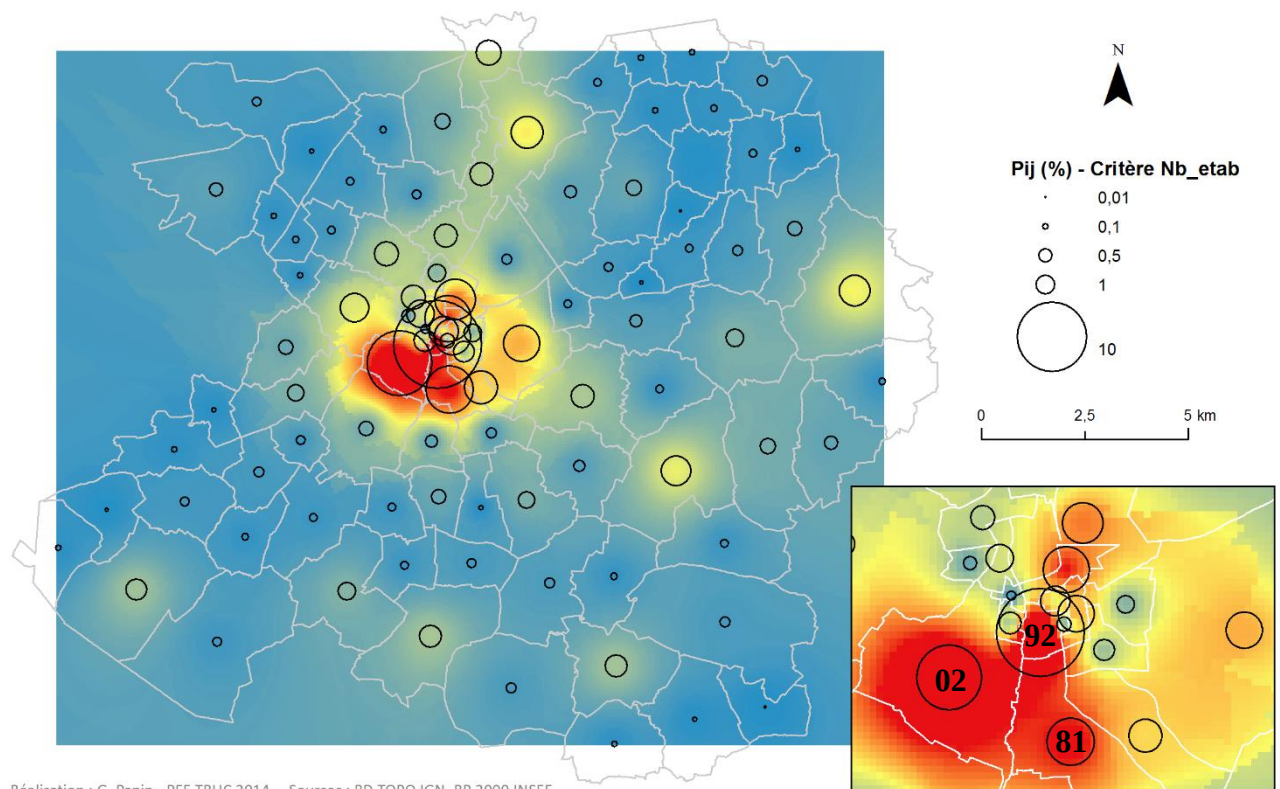


Graphe 2 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Nb_etab

Sur ce graphique on voit très nettement se démarquer une seconde fois deux IRIS, le 92 avec 15 % de probabilité d'attirer des déplacements, et l'IRIS 02 avec un peu plus de 9 % de probabilité.

On aperçoit également que la répartition est bien plus inégale en nombre d'établissements que la surface bâtie. Ceci est facilement explicable par la concentration des activités économiques dans les zones d'activités ou les centres-villes, délaissant les communes plus rurales, ou plus petites.

Enfin, ici encore, l'écart entre la plus forte des valeurs et la plus faible est très élevée, de l'ordre de 1168 fois supérieure.



Réalisation : G. Papin - PFE TRUC 2014 Sources : BD TOPO IGN, RP 2009 INSEE

Carte 12 - Représentation des P_{ij} (%) et interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Nb_etab

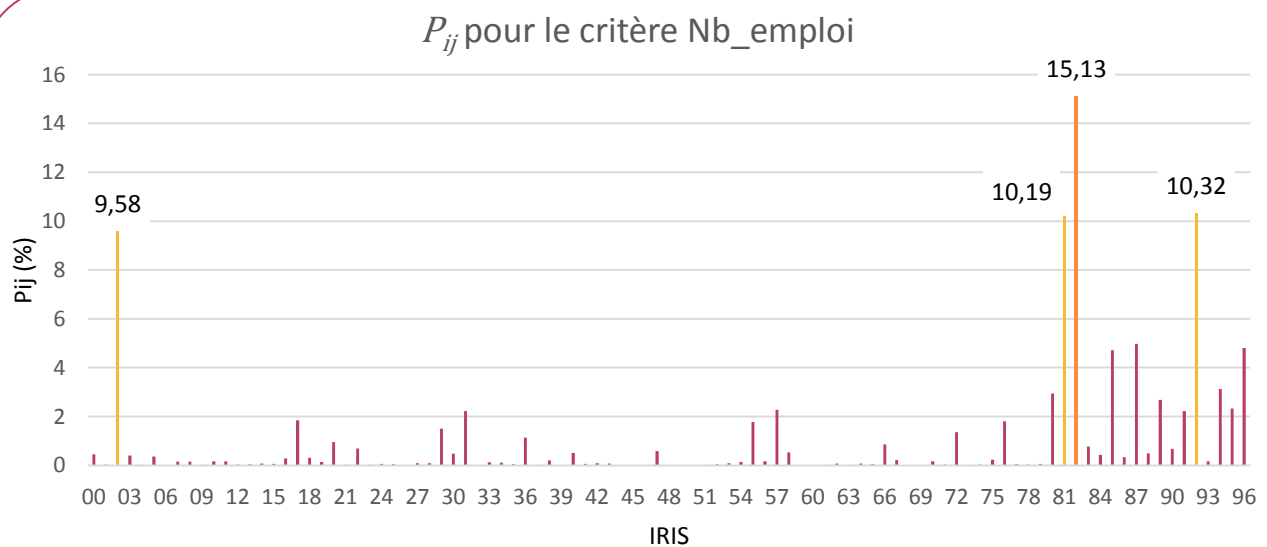
Cette fois encore, la carte nous montre que les IRIS avec l'accessibilité potentielle la plus forte se situent en cœur de SCOT (IRIS 92, 02 et 81).

Par contre, on peut observer que les pôles périphériques (en jaune) se sont atténués dans le sud du territoire pour subsister dans le Nord et l'Est, cela peut s'expliquer par la proximité de l'Île-de-France, avec son aire d'influence qui permet à des entreprises de s'installer plus proche de Paris, et donc au Nord de Montargis.

Enfin, on observe toujours le « désert bleu » autour du centre du SCOT montargois.

Remarque : Ces cartes ont été réalisées avec l'outil Interpolation IDW de l'extension Spatial Analyst d'ArcMap. On trouvera en annexe une explication sur ce type d'interpolation.

Critère « Nombre d'emplois » (Nb_emploi)



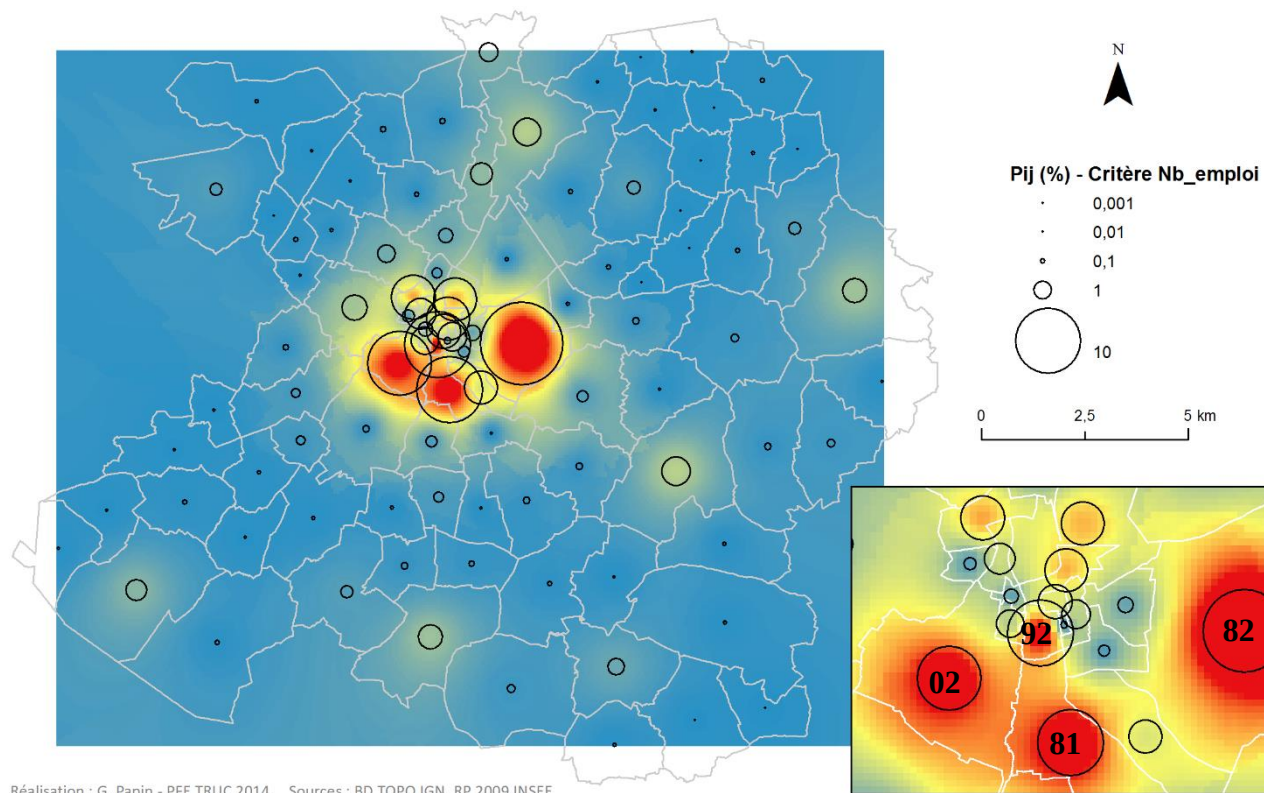
Graphe 3 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Nb_emploi

Dans ce dernier graphique, nous avons de nouveau les IRIS 02 et 92 qui se démarquent avec des valeurs, respectivement, de 9 % et 10 %, mais ceux-ci s'effacent derrière l'IRIS 82 et ses 15 %, il y a également l'IRIS 81, avec 10 % des probabilités d'attraction, qui se démarque.

La répartition y est également très inégale, et cela s'explique de la même manière que précédemment avec la concentration de l'emploi dans les pôles économiques.

Remarque : Il faut préciser qu'il s'agit de l'emploi vu par les postes salariés ; les indépendants et professions libérales ne sont donc pas représentés.

Cette fois la plus forte valeur est plus de 6603 fois supérieure à la plus faible des P_{ij} .



Carte 13 - Représentation des $P_{ij}(\%)$ et interpolation IDW pour le critère d'attraction A, Nb_emploi

Enfin, cette carte nous montre que l'emploi est le critère le plus inégalement réparti sur le territoire, en effet, l'écart s'est encore plus creusé entre la périphérie et le centre qui concentre toujours les quatre IRIS avec l'accessibilité potentielle la plus forte.

On observe cependant encore les cinq IRIS périphériques qui subsistent encore malgré l'hégémonie du cœur de SCOT.

Résumé statistique

Nous allons maintenant aborder un tableau reprenant les différentes statistiques des P_{ij} en fonction des critères afin de voir quels sont les IRIS qui ont la plus grande accessibilité potentielle d'un point de vue emploi.

Tableau 2 - Résumé statistique des IRIS

Critère d'attraction	P_{ij} la plus forte (%)	3 « meilleurs » IRIS		
Surf_dev	6,44	02	81	82
Nb_etab	15,19	92	02	81
Nb_emploi	15,13	82	92	81
Flux D-T totaux reçus	3766,46	92	81	02

On remarque avec ce simple tableau que se dégagent déjà de potentielles centralités, en effet, quels que soient les critères, les IRIS 02, 81, 82 et 92 ressortent souvent dans les 3 IRIS ayant les P_{ij} les plus fortes, et ont donc la plus grande accessibilité potentielle.

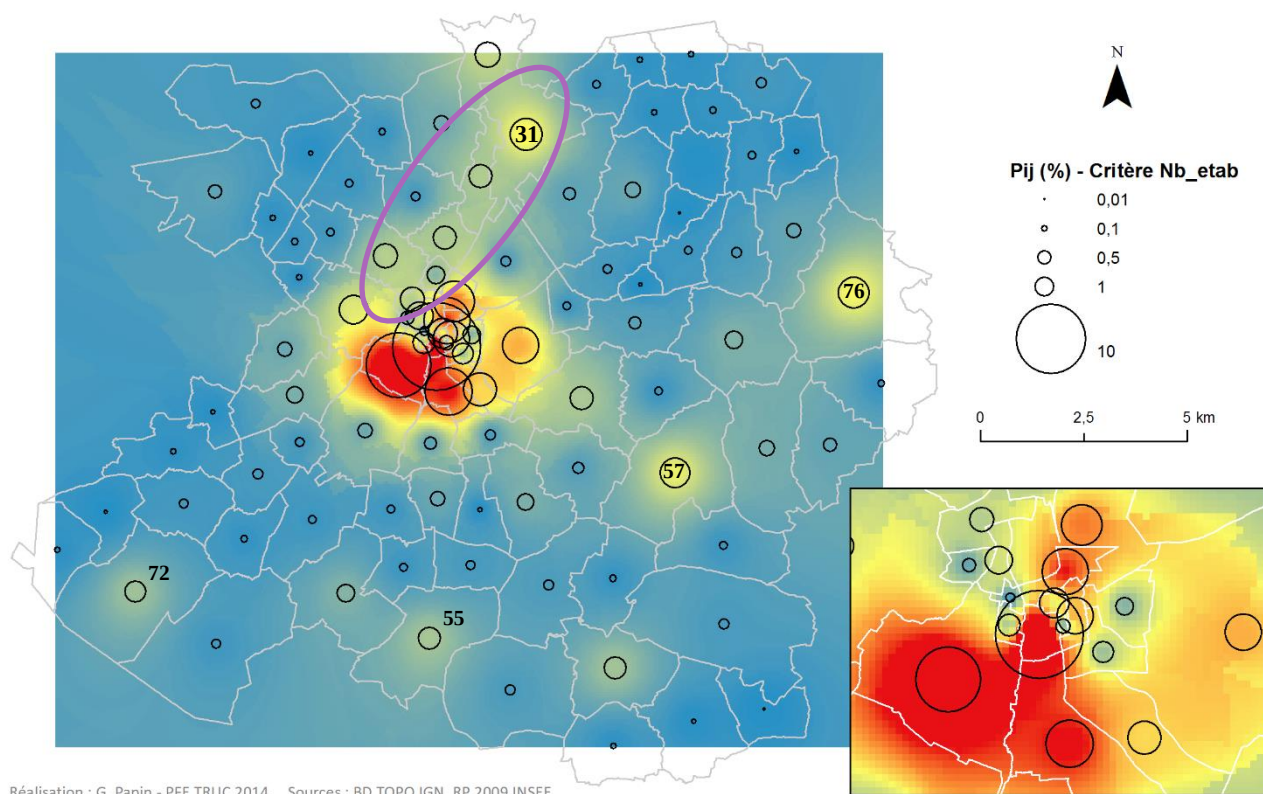
De plus, si l'on compare aux flux domicile-travail reçus, on se rend compte du même trio d'IRIS que celui obtenu avec le critère « Nb_etab », ce qui conforte sa plus forte corrélation.

Analyse & synthèse des résultats

a. Les centralités périphériques

Au vu des cartes ci-dessus, nous pouvons supposer que pour les critères concernant l'emploi au sens large, il existe des centralités périphériques.

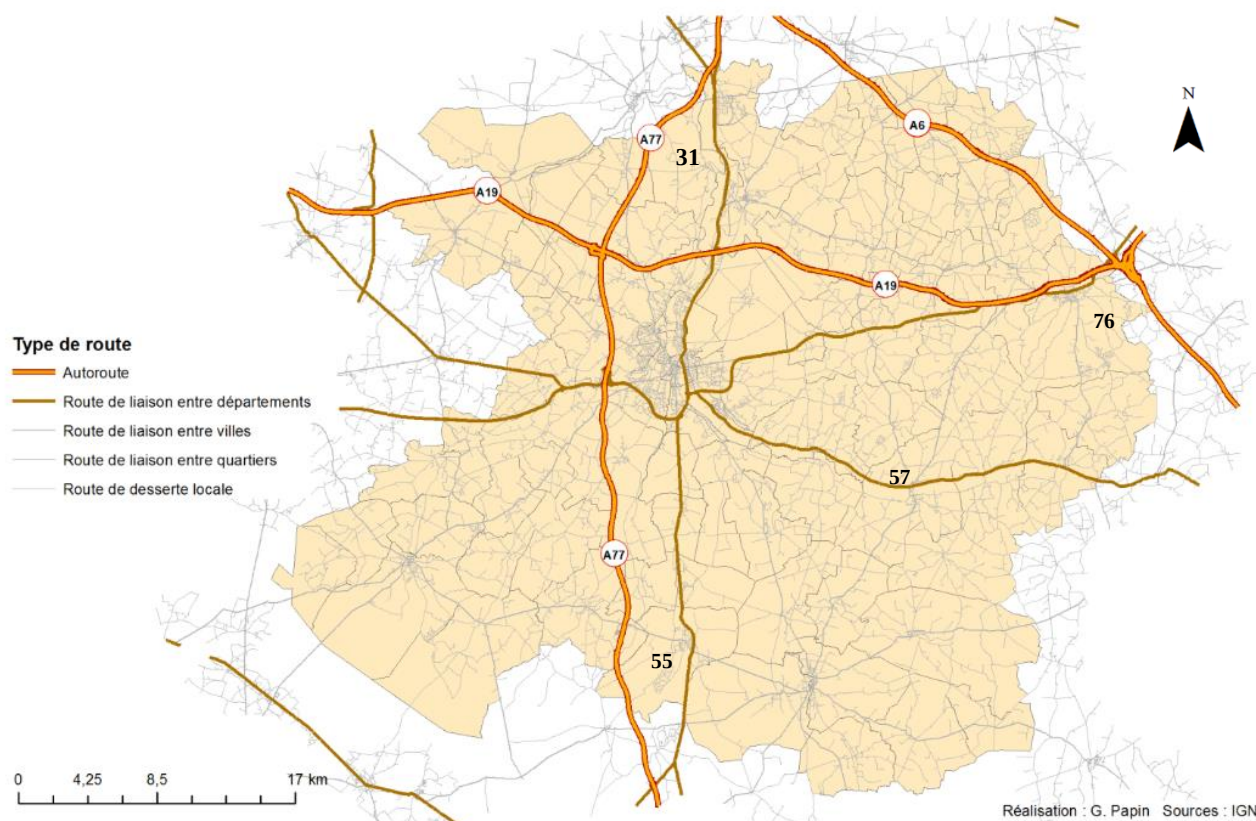
Ces centralités périphériques les plus « certaines » sont celles présentes sur la carte exploitant le critère « Nb_etab » qui présente la meilleure corrélation par rapport aux flux domicile-travail. Il s'agit donc, en premier lieu de l'IRIS 31 (Ferrières-en-Gâtinais), avec une P_{ij} de 2,6 %, ensuite vient l'IRIS 76 (Courtenay) avec une P_{ij} de 2,4 % et enfin l'IRIS 57 (Château-Renard), avec une P_{ij} de 2,2 %.



Carte 14 - Analyse de la représentation des $P_{ij}(\%)$ et de l'interpolation IDW pour le critère d'attraction A_i Nb_etab

On peut, dans un second temps, et sur la base des critères « Surf_dev » et « Nb_emploi », fortement corrélés aux flux domicile-travail eux aussi, cités deux autres centralités périphériques de seconde classe, à savoir les IRIS 55 (Nogent-sur-Vernisson) et 72 (Lorris), avec respectivement 1,36 % de P_{ij} (Nb_etab) et 1,25 % (Nb_etab).

Il convient également de remarquer l'agglomération d'IRIS présentant une P_{ij} moyenne entre le cœur de SCOT et l'IRIS 31, on pourra voir plus tard qu'ils suivent la route N7 tout en disposant d'un certain nombre d'établissements.



Carte 15 - Le réseau routier du SCoT montargois

En effet, lorsque l'on superpose le réseau routier on s'aperçoit que ces IRIS se situent le long de la route N7 les reliant à l'Île-de-France, preuve que l'accessibilité est cruciale pour le développement de ces activités. Même constat pour l'IRIS 76 (Courtenay) qui se situe au carrefour de l'A19 et de l'A6. De plus, cet IRIS joue également le rôle d'interface avec l'Yonne et donc sert de porte d'entrée sur le territoire du SCoT montargois, tout comme Château-Renard (n°57), et dans une moindre mesure Nogent-sur-Venirsson (n°55) qui se situent sur les axes départementaux de forte importance, respectivement la D943 et la N7.

b. Force du D_{ij} , force de l' A_j

Il conviendra dans cette partie d'analyser le modèle par rapport à ses deux composantes, à savoir ce qui peut permettre une bonne interprétation des résultats. En effet, comme on a pu le voir précédemment, deux résultats équivalents pouvait provenir de deux scénarii différents, à savoir une accessibilité faible (un grand D_{ij}) mais un critère d'attraction A_j élevé, ou un critère d'attraction faible et une accessibilité élevée (un faible D_{ij}).

De plus, il serait intéressant de voir la force des deux critères l'un par rapport à l'autre afin de connaître l'utilité du modèle d'accessibilité potentielle qu'est le modèle de Huff, afin de savoir s'il n'était pas plus simple d'observer simplement les D_{ij} ou les A_j . En effet, si l'un des deux facteurs n'influe pas, ou que les résultats sont proportionnels à l'un ou l'autre des facteurs, le modèle n'est juste qu'une pondération de ce-dernier, et n'apporte rien de plus qu'une simple représentation du nombre d'emplois par IRIS par exemple, ou de sa surface bâtie développée.

Pour ce faire, nous allons étudier le facteur de corrélation linéaire r de ces deux facteurs en comparant les P_{ij} aux A_j et D_{ij} .

	Surf_dev		Nb_etab		Nb_emploi	
	A_j	D_{ij}	A_j	D_{ij}	A_j	D_{ij}
r par rapport au P_{ij}	0,897	- 0,43	0,963	- 0,375	0,98	- 0,387

Ainsi, nous pouvons voir que malgré un coefficient de corrélation très élevé pour chaque critère d'attraction A_j , celui pour les D_{ij} est également relativement conséquent. Ceci veut dire que les valeurs évoluent conjointement, même si l'une est plus imposante que l'autre dans le modèle.

Ceci peut expliquer des proximités de résultats entre la cartographie des A_j et celle des P_{ij} , et signifie que même si l'accessibilité joue un rôle, celui-ci reste relativement tenu de par le fait que le territoire est relativement bien desservi au niveau routier sur tout l'environnement spatial.

Il est cependant nécessaire de prendre en compte l'accessibilité aux lieux, car avec ses valeurs de r comprises en -0,39 et -0,43, son rôle existe tout de même et ne saurait être négligé. De plus, elle peut apporter un certain nombre de nuances dans certains cas. En effet, si deux offres de même A_j existent, elles seront départagées par le D_{ij} qui deviendra alors essentiel à la définition d'une zone accessible ou non.

Limites & prolongements

Comme on a pu le voir au long de cette partie, la validité de la présente accessibilité zonale n'est vérifiée et ne s'applique qu'aux flux domicile-travail. En effet, nous n'avons pu vérifier la validité des résultats qu'avec les données de l'INSEE concernant la mobilité de l'emploi.

Le modèle pourrait cependant s'appliquer aux autres motifs de déplacement, comme l'éducation, les loisirs, les achats, mais cela nécessiterait le temps d'établir une base de données exhaustive et fiable, relevée sur le territoire d'étude. Cependant, cela serait intéressant de connaître les flux totaux de déplacements, à l'image de comptages routiers, afin de connaître les zones auxquelles la population accède le plus et ce afin de voir si le modèle peut représenter ces pôles d'accessibilités, qu'ils se situent en périphérie ou dans le centre de l'agglomération.

Synthèse

Le modèle probabiliste, ou modèle de Huff, permet donc de mettre en évidence qu'il existe d'autres centralités que celles situées en cœur de SCoT (Amilly, Châlette-sur-Loing, Montargis), et qu'elles se situent en bordure de SCoT, représentant les portes d'entrée de ce territoire. De plus, on peut voir qu'il existe un réel désert en termes d'accessibilité potentielle entre le centre et ces centralités périphériques.

Ainsi, maintenant que nous disposons des centres d'accessibilité potentielle, il serait intéressant d'étudier leurs interactions, à travers notamment les flux domicile-travail. C'est ce à quoi s'attèle la partie suivante avec l'accessibilité gravitaire.

Le modèle gravitaire

On réduit fréquemment la notion d'interaction spatiale au phénomène de décroissance des flux avec la distance. À la fin du XIX^{ème} siècle, l'observation des migrations conduit différents auteurs comme Ravenstein à mettre en évidence des lois empiriques. Par exemple : le nombre de migrants diminue quand la distance augmente ; la plupart ne vont pas très loin ; ceux qui se déplacent sur de grandes distances se dirigent de préférence vers les grands centres commerciaux et industriels. Par la suite, on fera le rapprochement avec les lois de la gravitation universelle. Les modèles gravitaires sont nés et peuvent être considérés comme les créateurs de la théorisation générale des flux, que l'on rassemble sous le nom de modèles d'interaction spatiale.

a. Le choix du modèle

On distingue alors différents types de modèles gravitaires comme les modèles de Paréto, de Wilson ou de Tobler [GRASLAND, 2000] :

$$\begin{aligned} F_{ij} &= k \cdot P_i^{b1} \cdot P_j^{b2} \cdot D_{ij}^{-a} \\ F_{ij} &= a_i \cdot O_i \cdot b_i \cdot D_{ij}^{-a_{Tij}} \\ F_{ij} &= \frac{A_i + B_j}{D_{ij}} \end{aligned}$$

Mais celui qui se rapproche au plus près du modèle que nous allons utiliser est celui de Stewart. Il relie les flux de déplacements à la loi universelle de la gravitation de Newton⁴ : « 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 »⁵. Sa formule est la suivante :

$$F_{ij} = k * \frac{P_i * P_j}{D_{ij}^2}$$

- F_{ij} : nombre de migrants de i vers j
- k : niveau global de mobilité
- P_i, P_j : population des lieux i et j
- D_{ij} : Distance entre i et j

⁴ Loi relative à l'attraction de deux corps, qui est proportionnelle à leur masse respective et inversement proportionnelle à la distance les séparant

⁵ Les modèles d'interaction spatiale, Claude Grasland, 2000/2001, 24 pages, Université Paris VII/ UFR GHSS – Licence de Géographie. 24 p.

Par analogie, pour la modélisation de la mobilité domicile, ce ne sont plus des masses au sens physique du terme qui sont considérées mais des masses de populations, et le résultat n'est plus une force mais un flux résultant de l'attractivité, la génération de ces deux masses de population et dépendant de la distance qui les sépare.

Pour notre étude sur la mobilité domicile/travail nous allons nous appuyer sur un modèle semblable qui montre que les flux de déplacement domicile/travail entre un IRIS d'origine i et un IRIS de destination j sont proportionnels à une génération G_i représentant la population active et une attraction A_j que l'on peut assimiler à la quantité d'emploi. Néanmoins les flux sont inversement proportionnels à la distance D_{ij} qui relie les deux IRIS i et j . Par ailleurs, on note deux coefficients qui sont α un facteur d'homogénéisation et β le frein au déplacement. Ce qui se traduit par l'équation suivante :

$$T_{ij} = \alpha * \frac{A_j * G_i}{D_{ij}^\beta}$$

- T_{ij} = flux de déplacement de i vers j
- A_j = attraction de la destination pour un motif donné
- G_i = génération, capacité à générer du flux
- D_{ij} = distance entre i et j
- α = facteur d'homogénéisation
- β = frein au déplacement

b. Objectif de l'étude

L'objectif pour nous consiste en la compréhension des flux de déplacements domicile/travail actuels afin de prévoir l'impact éventuel de l'implantation d'une zone d'emploi, d'habitations ou la modification du réseau routier sur ces flux de déplacements. Pour ce faire nous devons donc déterminer les coefficients α et β propres au périmètre d'étude afin de calculer les futurs flux. Nous avons alors manipulé la formule du modèle gravitaire de la façon suivante :

$$\begin{aligned} T_{ij} &= \alpha * \frac{A_j * G_i}{D_{ij}^\beta} \Leftrightarrow \frac{T_{ij}}{A_j * G_i} = \alpha * D_{ij}^{-\beta} \\ &\Leftrightarrow \frac{T_{ij}}{A_j * G_i} = \alpha * e^{-\beta \ln D_{ij}} && \text{car } A^B = e^{B \ln A} \\ &\Leftrightarrow \ln \frac{T_{ij}}{A_j * G_i} = \ln \alpha * e^{-\beta \ln(D_{ij})} && \text{passage au logarithme népérien} \\ &\Leftrightarrow \log \frac{T_{ij}}{A_j * G_i} = \log \alpha - \beta * \log D_{ij} && \text{car } \log A = \frac{\ln A}{\ln 10} \end{aligned}$$

Finalement on peut exprimer le modèle gravitaire comme une fonction du type affine de telle sorte que :

$$Y = a \cdot X + b \Leftrightarrow \log\left(\frac{T_{ij}}{A_j \cdot G_i}\right) = (-\beta) \cdot \log(D_{ij}) + \log(\alpha)$$

Nous devons alors construire différentes bases de données afin d'exprimer les T_{ij} , A_j , G_i , D_{ij} , le $\log\left(\frac{T_{ij}}{A_j \cdot G_i}\right)$ et $\log(D_{ij})$. Le facteur d'homogénéisation (α) ainsi que le frein au déplacement (β) seront, par la suite, déterminés par régression linéaire.

Conception des différentes bases de données

Pour atteindre notre objectif de déterminer un facteur d'homogénéisation et un facteur de frein au déplacement représentatif du territoire, nous devons rechercher les critères et les données qui conviennent au mieux. C'est pourquoi nous créerons deux bases de données pour chaque T_{ij} , A_j , G_i et D_{ij} . La meilleure combinaison sera conservée pour déterminer α et β .

Pour cette étude on dispose de plusieurs catégories de données. Certaines sont issues de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE), d'autres sont calculées et créées particulièrement pour cette étude. On dispose également de données hybrides, elles sont issues de l'INSEE mais nous avons eu besoin de les pondérer comme les flux de déplacements T_{ij} .

a. Flux de déplacements T_{ij}

La base de données domicile travail sur laquelle nous avons travaillé est issue de l'INSEE et date de 2008. Elle a l'inconvénient, pour notre étude, d'être à l'échelle communale et comme nous travaillons à l'échelle infra communale nous avons dû pondérer ou éclater ses flux notamment pour les trois communes irisées que sont Amilly, Châlette-sur-Loing et Montargis. La pondération effectuée est double puisque les critères ne sont pas les mêmes si la commune est à l'origine du flux (la génération, c'est-à-dire la quantité d'actif de l'IRIS) ou bien la destination (l'attraction, c'est-à-dire la capacité d'emploi de l'IRIS).

Remarque : Nous devons faire attention à ne pas être redondants dans nos choix des critères entre la pondération des flux et le choix des A_j , G_i . C'est pourquoi on n'utilisera pas les mêmes données pour la pondération et pour l'attraction ou la génération.

Pondération des flux

Nous avons réalisé pour cette étude deux pondérations distinctes :

- Surface Bâti & surface Zone d'Activité (ZA)
- Nombre de résidence principale & nombre d'établissements

Id Iris		Sum Shape Aera bâti		Sum Shape Area ZA		Coefficient	Coefficient
80	Amilly	1300952,6230	6645260,3028	4208,6289	2320595,3096	0,196	0,002
81	Amilly	1802883,8663		822502,3130		0,271	0,354
82	Amilly	946560,8917		1233908,0921		0,142	0,532
83	Amilly	1297115,1323		259976,2757		0,195	0,112
84	Amilly	1297747,7896				0,195	0,000
85	Châlette-sur-Loing	1209254,5385	4873453,9894	307864,8942	1619286,4252	0,248	0,190
86	Châlette-sur-Loing	1488669,8917		160410,8288		0,305	0,099
87	Châlette-sur-Loing	1048708,6068		676525,1138		0,215	0,418
88	Châlette-sur-Loing	713378,2866		7496,3024		0,146	0,005
89	Châlette-sur-Loing	413442,6658		466989,2859		0,085	0,288
90	Montargis	310815,4510	3607852,3428	13689,1420	114876,0330	0,086	0,119
91	Montargis	464102,7367				0,129	0,000
92	Montargis	808902,5515		3353,8351		0,224	0,029
93	Montargis	103631,4368				0,029	0,000
94	Montargis	344505,3208				0,095	0,000
95	Montargis	777028,1175				0,215	0,000
96	Montargis	798866,7284		97833,0559		0,221	0,852
						Départ	Arrivée
Pondération Surface Bâti / Surface ZA							

Tableau 3 - Exemple de pondération des flux domicile/travail

Pour mieux comprendre ces pondérations, prenons un exemple avec le flux domicile-travail entre Amilly (une commune fragmenté en 5 IRIS) et Villemandeur (une commune dont le périmètre est confondu avec celui de l'IRIS associé).

Le flux domicile-travail entre Amilly et Villemandeur est d'environ 245 travailleurs. Pour calculer le flux entre les IRIS 80 et 2 nous allons utiliser l'opération suivante :

$$\text{Nouveau Flux} = \text{Flux} \times \text{Pondération_Origine} \times \text{Pondération_Destination}$$

ID	Iris Origine	ID	Iris Destination	Flux	Pondération Origine	Pondération Destination	Nouveau Flux
80	Amilly	2	Villemandeur	245,446	0,196	1	48,051
81	Amilly	2	Villemandeur	245,446	0,271	1	66,590
82	Amilly	2	Villemandeur	245,446	0,142	1	34,962
83	Amilly	2	Villemandeur	245,446	0,195	1	47,910
84	Amilly	2	Villemandeur	245,446	0,195	1	47,933

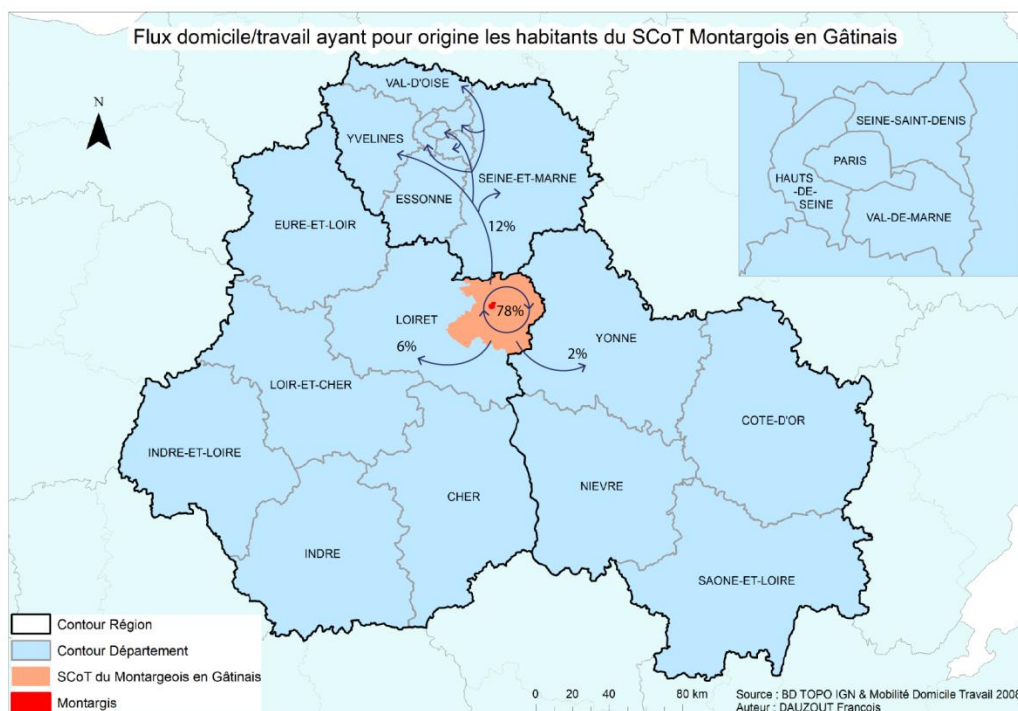
Tableau 4 - Exemple de pondération des flux domicile/travail

Ainsi, on éclate le flux initial commune vers commune en un flux IRIS vers IRIS.

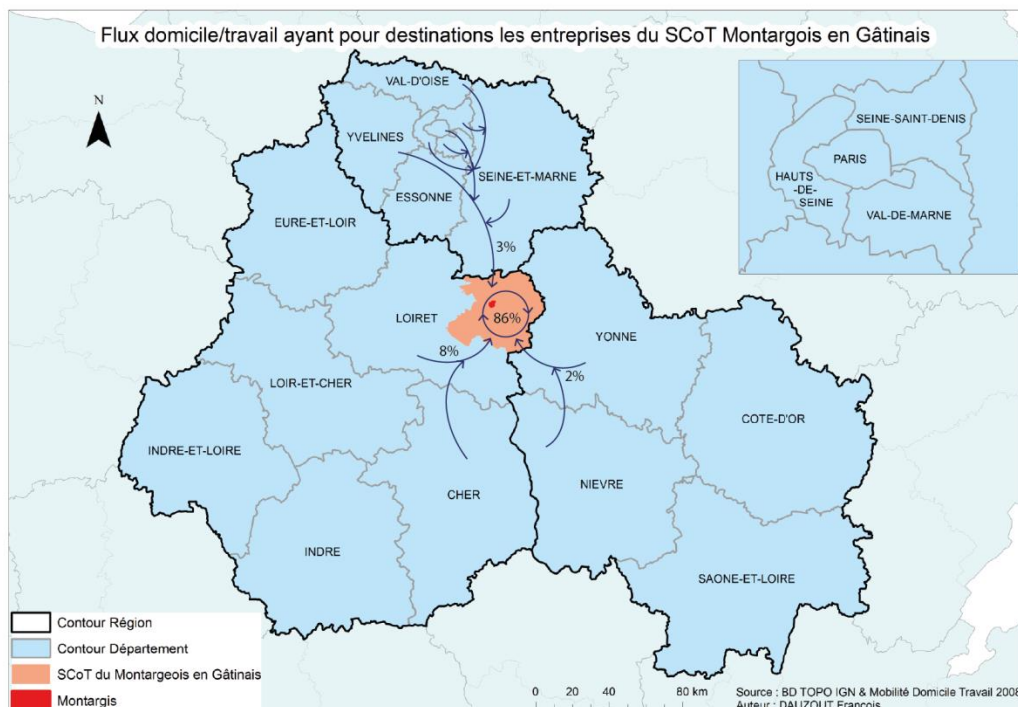
Analyse de la mobilité domicile/travail

Sur cette première carte, ci-dessous, on s'intéresse à la mobilité de la population active du SCoT Montargois en Gâtinais. On peut s'apercevoir que notre territoire d'étude peut sembler pertinent puisque 78 % de la population active qui y réside, travaille sur ce même territoire. Néanmoins on se doit de noter une certaine polarisation de la région Ile de France car 12 % actifs migrent vers le nord

dans le cadre de la mobilité domicile travail. Pour autant, cette migration hors du SCoT ne représente pas un obstacle pour notre étude puisque nous sélectionnerons uniquement les flux internes à notre périmètre de travail.



Sur la seconde carte, ci-dessous, on s'intéresse au flux domicile travail ayant pour destination le SCoT Montargois en Gâtinais, autrement dit on cherche à savoir d'où provient la population active qui vient travailler sur notre périmètre d'étude. On se rend compte alors que 14 % des salariés des entreprises du SCoT vivent en dehors de ce même territoire. Cette information nous informe déjà sur la limite de notre recherche puisque l'attractivité A_j est exprimée en nombre de salariés mais ne prend pas en compte le lieu de résidence de ces employés.



b. Attraction A_j

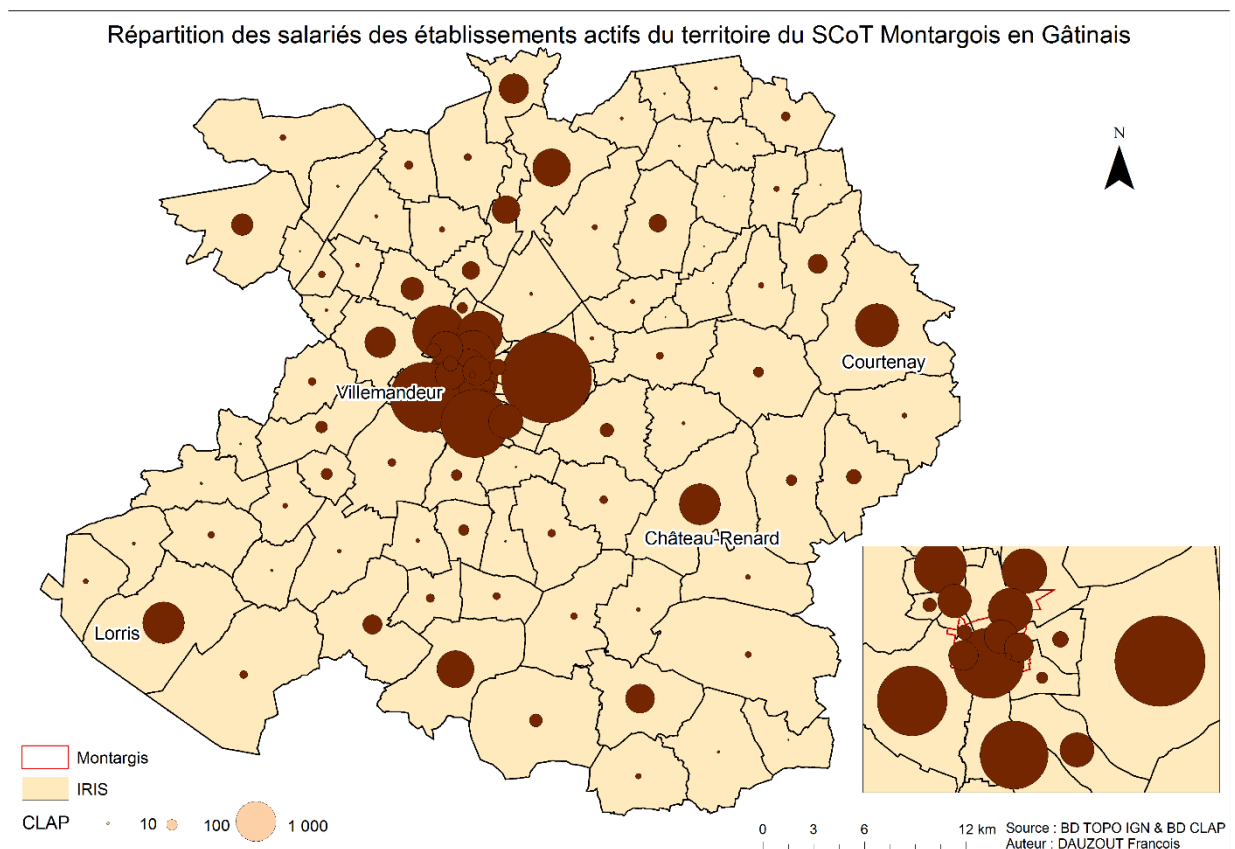
Pour exprimer l'attractivité d'un IRIS j nous avons utilisé la base de données CLAP ou Connaissance Locale de l'Appareil Productif et la base de données DADS qui exploite les Déclarations Annuelles des Données Sociales. A partir de ces bases nous avons donc obtenue le nombre de salarié par IRIS ce qui peut se traduire par l'offre en terme d'emploi sur le territoire et par IRIS.

Sur la carte, ci-dessous on peut voir la répartition des effectifs salariés des établissements actifs au 31/12/2011 selon le regroupement des 5 grands secteurs que sont :

- Agriculture, sylviculture, pêche
- Industrie
- Construction
- Commerce, transports et services divers
- Administrations publique, enseignement, santé et action sociale

On note par ailleurs que 55% des actifs se concentrent dans les trois communes irisées que sont Amilly, Chalette-sur-Loing et Montargis.

Hormis les trois communes irisées situé au cœur du territoire, on ne dénombre que quatre communes/IRIS dont le nombre de salariés dépasse la barre des 1 000 personnes : Château-Renard, Courtenay, Lorris et Villemandeur

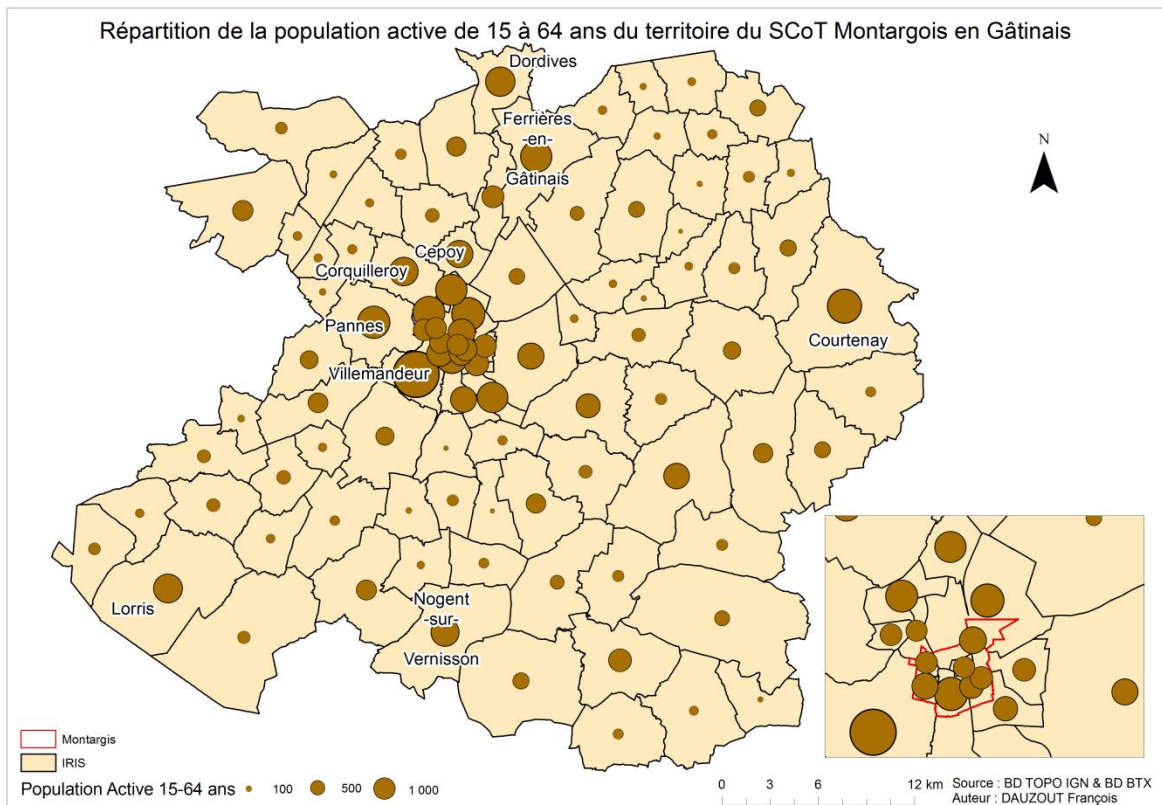


Carte 16 - Représentation du nombre de salariés par IRIS sur le territoire du SCoT

c. Génération G_i

Pour caractériser au mieux la génération, nous avons choisi de travailler sur la population active à l'aide du fichier BTX_IC_ACT_2009 de l'INSEE qui a pour source le recensement de la population. On dispose alors de nombreuses informations mais nous nous sommes d'avantage concentrés sur deux paramètres. Tout d'abord la population active de 15 à 64 ans (homme et femme), à savoir que l'INSEE regroupe sous le terme de population active les actifs ayant un emploi et les chômeurs. Ne font pas partie de la population active les personnes qui, bien que s'étant déclarées au chômage, précisent qu'elles ne recherchent pas d'emploi. Le second paramètre que nous avons utilisé concerne la population active occupé, de 15 ou plus, utilisant principalement la voiture ou le camion comme mode de déplacement pour aller travailler.

Sur la carte ci-dessus, nous avons représenté la répartition de la population active sur le territoire d'étude. On recense alors 35 % de la population active au sein des trois communes irisées que sont Amilly, Chalette-sur-Loing et Montargis. Par ailleurs, seul le nom des communes ou IRIS comptant plus de 1 500 personnes actives a été représenté.



Carte 17 - Représentation de la population active par IRIS sur le territoire su SCot

d. Matrice Origine-Destination (D_{ij})

Une matrice origine destination c'est une table permettant de connaître la distance qui sépare un IRIS d'origine i et un IRIS de destination j . Pour cette étude, nous avons réalisé un total de quatre matrices OD avec une méthode de calcul qui est développée en annexe 1. Les deux premières matrices ont été réalisées à l'aide d'un réseau « classique », c'est-à-dire sans diviser le temps de parcours ou la distance des tronçons par leur nombre de voies. On obtient alors deux matrices, une en distance physique (en mètre) et une distance temps (en minute). Les deux secondes matrices ont été réalisées avec réseau « pondéré », c'est-à-dire que l'on a divisé le temps de parcours ou la distance des tronçons par leur nombre de voies, ceci dans le but d'injecter de manière indirecte la capacité des tronçons routiers et de favoriser les voies rapides. On obtient également deux matrices, une en distance physique (en mètre) et une distance temps (en minute). Pour notre étude nous nous servons des matrices en distance temps, néanmoins on retrouve l'analyse complète de l'ensemble des matrices origine/destination en annexe 3 de ce rapport.

Déterminations des constantes α et β

a. Méthode

À l'aide d'un tableur (Excel par exemple), nous avons créé des feuilles de calculs dans lesquelles nous devons charger en entrée nos quatre facteurs : la pondération de T_{ij} , l'attraction A_j , la génération G_i ainsi que la matrice D_{ij} . En sortie, nous obtenons pour chaque couple (I,J) une valeur en abscisse qui est le $\text{Log} (D_{ij})$ et une valeur en ordonnée qui est $\text{Log} \frac{T_{ij}}{A_j \cdot G_i}$.

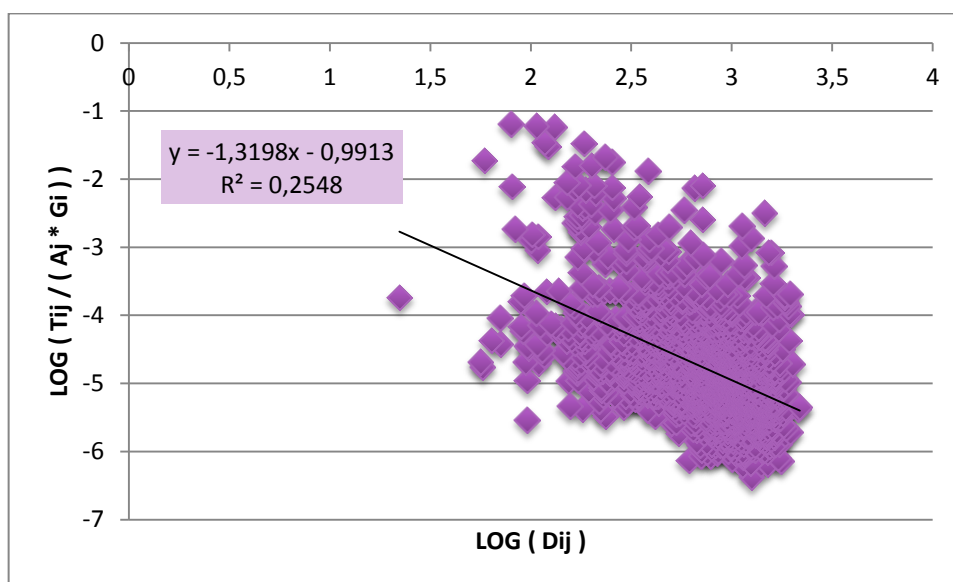
Pour chacun des facteurs nous avons deux sortes de données ce qui nous donne un total de seize combinaisons possible et nous avons donc gardé celle qui obtenait le meilleur coefficient de corrélation.

I	J	LOG Dij	LOG (Tij / Aj *Gi)
39	90	2,88490168	-6,610827249
32	82	2,79734458	-6,582343506
32	90	2,71616183	-6,398396894

Tableau 5 - Jointure des abscisses et des ordonnées par le couple (I J)

b. Résultats

Le meilleur résultat est obtenu pour une combinaison avec une pondération des flux par le nombre de logements et le nombre d'établissements, la base de données CLAP des salariés, la population active totale de 15 à 64 ans et la matrice des distances temps du réseau classique.



Graphique 4 - Nuage de point et régression linéaire

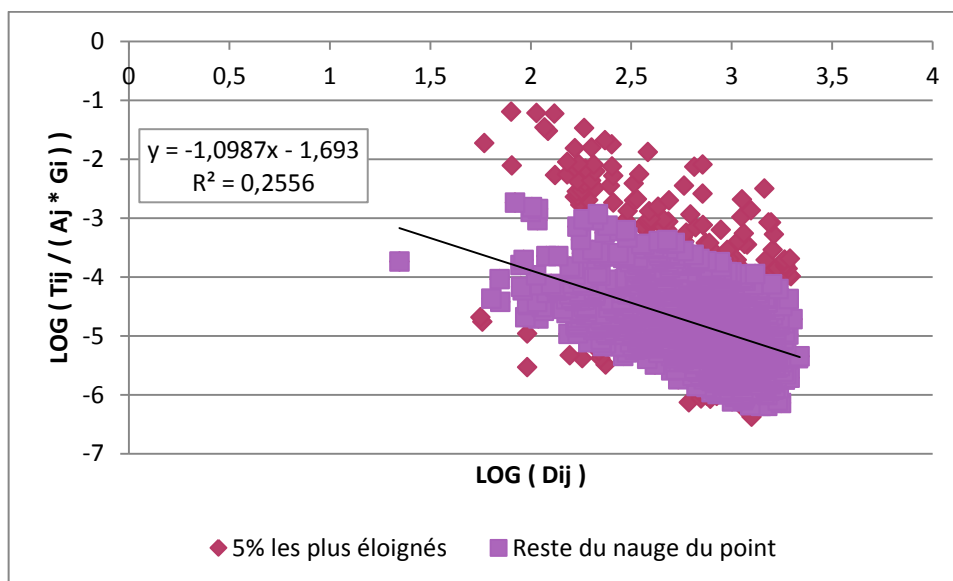
À ce stade, le résultat n'est pas exploitable car trop peu satisfaisant. Le modèle gravitaire, avec les données et critères que nous avons utilisés, ne représente qu'à 25 % le territoire. Le modèle mathématique n'explique pas de manière significative la distribution des points. Nous devons alors comprendre les raisons d'une faible corrélation et ceci passe par l'analyse des points, des couples (I,J) qui s'éloignent le plus de la droite de régression.

Estimation par intervalle de confiance

L'opération consiste à déterminer un intervalle qui à p chances sur 100 de contenir une valeur cherchée quelconque, pour un risque d'erreur égale à $(100 - p)$. Cet intervalle est délimité par 2 droites parallèles et équidistantes de la droite de régression. Ces droites ont par conséquent le même coefficient directeur mais il faut alors déterminer l'ordonnée à l'origine. Plus l'intervalle de confiance est petit, et plus la probabilité que la valeur du nuage de point soit sur la droite de régression est forte.

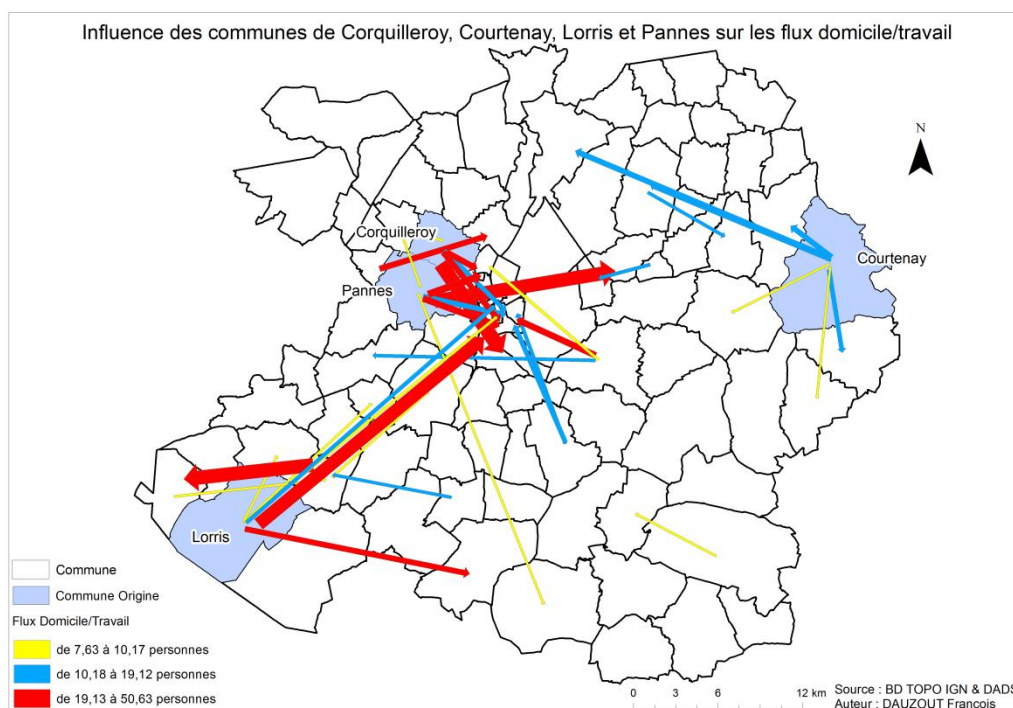
a. Risque d'erreur 5%

Dans ce premier cas, nous avons éliminé 5% des points qui sont les plus éloignés de la droite de régression initiale. On calcule une nouvelle droite de régression qui ne montre pas d'amélioration probante car les coefficients de corrélations sont similaires.



Graph 5 - Régression linéaire avec un risque d'erreur de 5 %

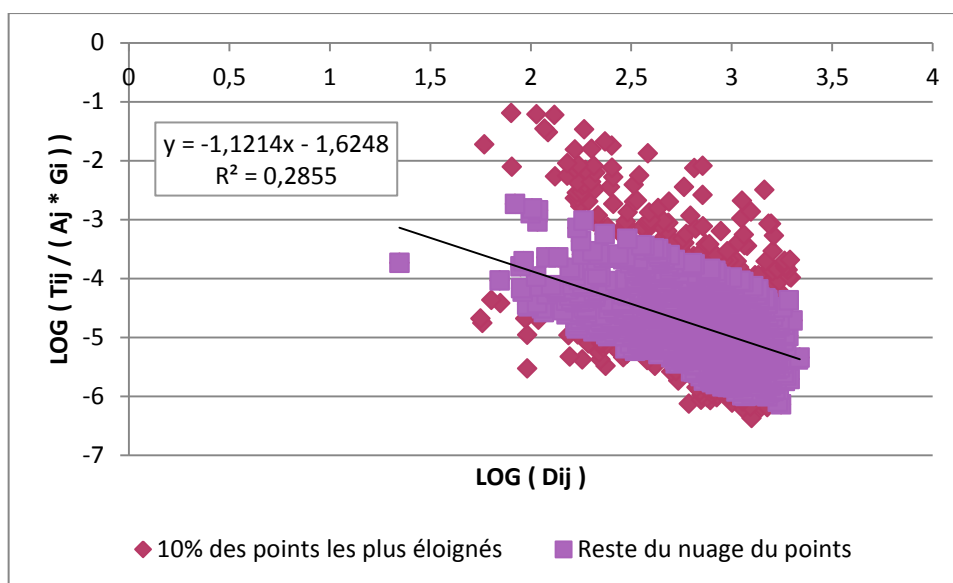
Il n'est pas simple de dégager une tendance sur les 5% des points les plus éloignés de la droite de régression. Néanmoins en traçant les flux domicile/travail, on peut noter que les communes de Corquilleroy, Courtenay, Lorris et Pannes sont à l'origine des 64 % des flux. Pour ce qui est des flux entrant, ils sont généralement à destination des trois communes irisées d'Amilly, Chalette-sur-Loing et Montargis.



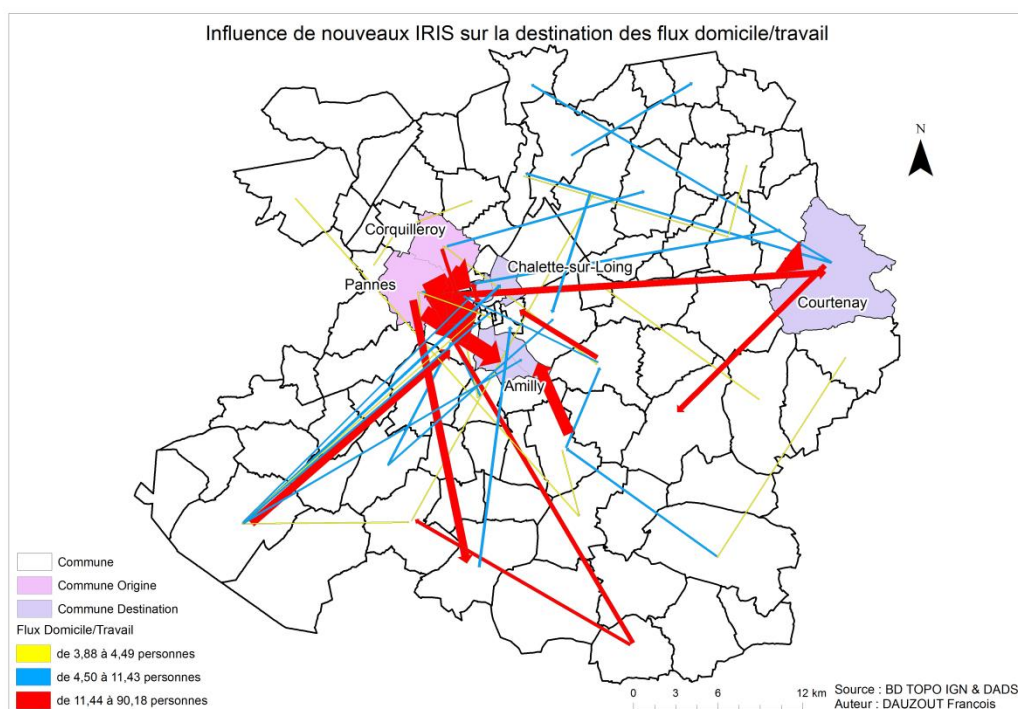
Carte 18 - Représentation des flux domicile/travail pour un risque d'erreur de 5 %

b. Risque d'erreur 10%

Dans ce second cas, nous avons éliminé 10% des points situés le plus loin de la droite de régression initiale. On calcule alors une nouvelle droite de régression qui montre une faible amélioration du coefficient de corrélation (+0.03).

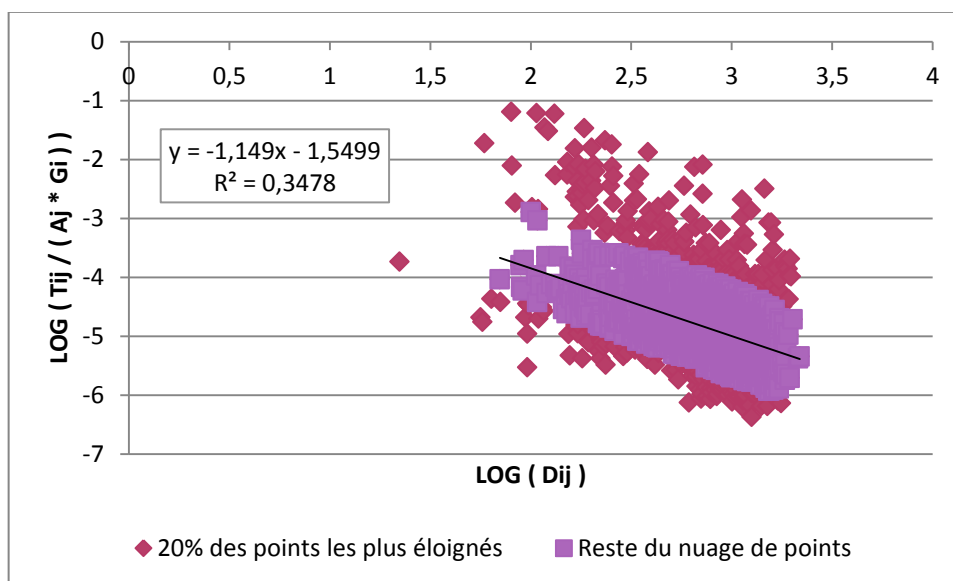


Sur la carte ci-dessous, on peut s'apercevoir que les communes de Corquilleroy et de Pannes concentrent à elles seules 47 % des flux sortant ou origine. Mais ce qu'on peut remarquer c'est l'influence de la commune de Courtenay qui comptabilise avec un IRIS de Châlette-sur-Loing et deux IRIS d'Amilly plus de 55% des flux entrant ou destination.



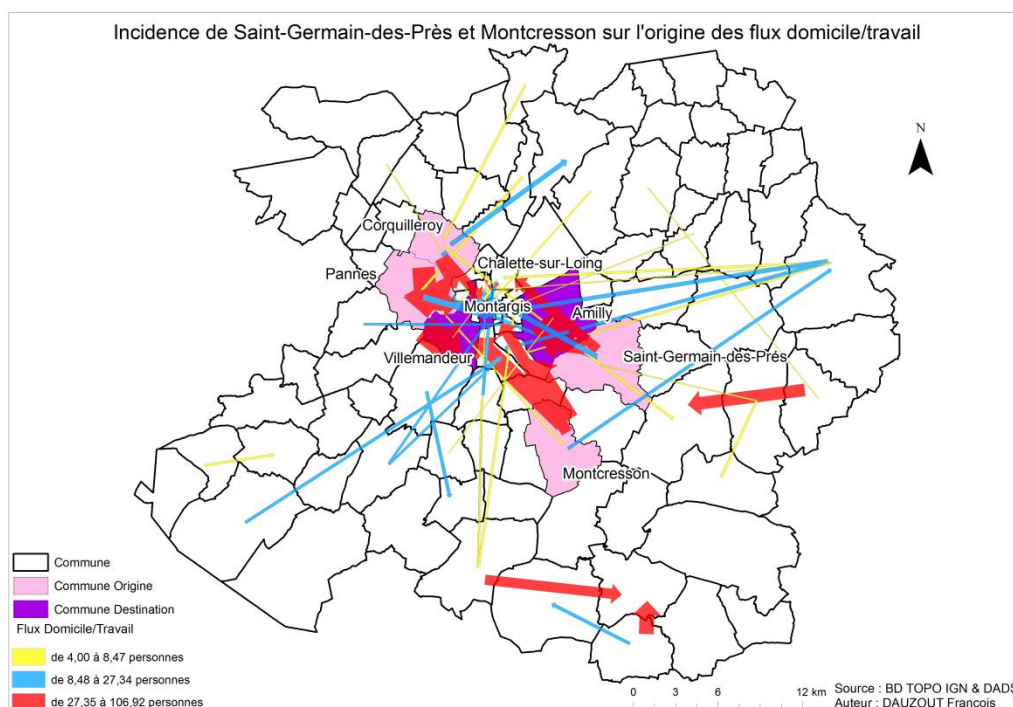
c. Risque d'erreur 20%

Dans ce troisième et dernier cas, nous avons éliminé 20% des points les plus éloignés de la droite de régression initiale. On calcule également une nouvelle droite de régression et dans ce cas le résultat est significatif car on peut noter une amélioration de 10%. Cependant, ce coefficient de corrélation est toujours faible et non représentatif



Graph 7 - Régression linéaire avec un risque d'erreur de 20 %

Enfin, il devient de plus en plus difficile d'identifier des éléments de réponse afin d'augmenter notre corrélation. Une fois de plus, les communes de Corquilleroy et Pannes font partie avec Montcresson et Saint-Germain-des-Prs des communes les plus émettrices avec 58 % des flux.



Carte 20 - Représentation des flux domicile/travail pour un risque d'erreur de entre 10 % et 20 %

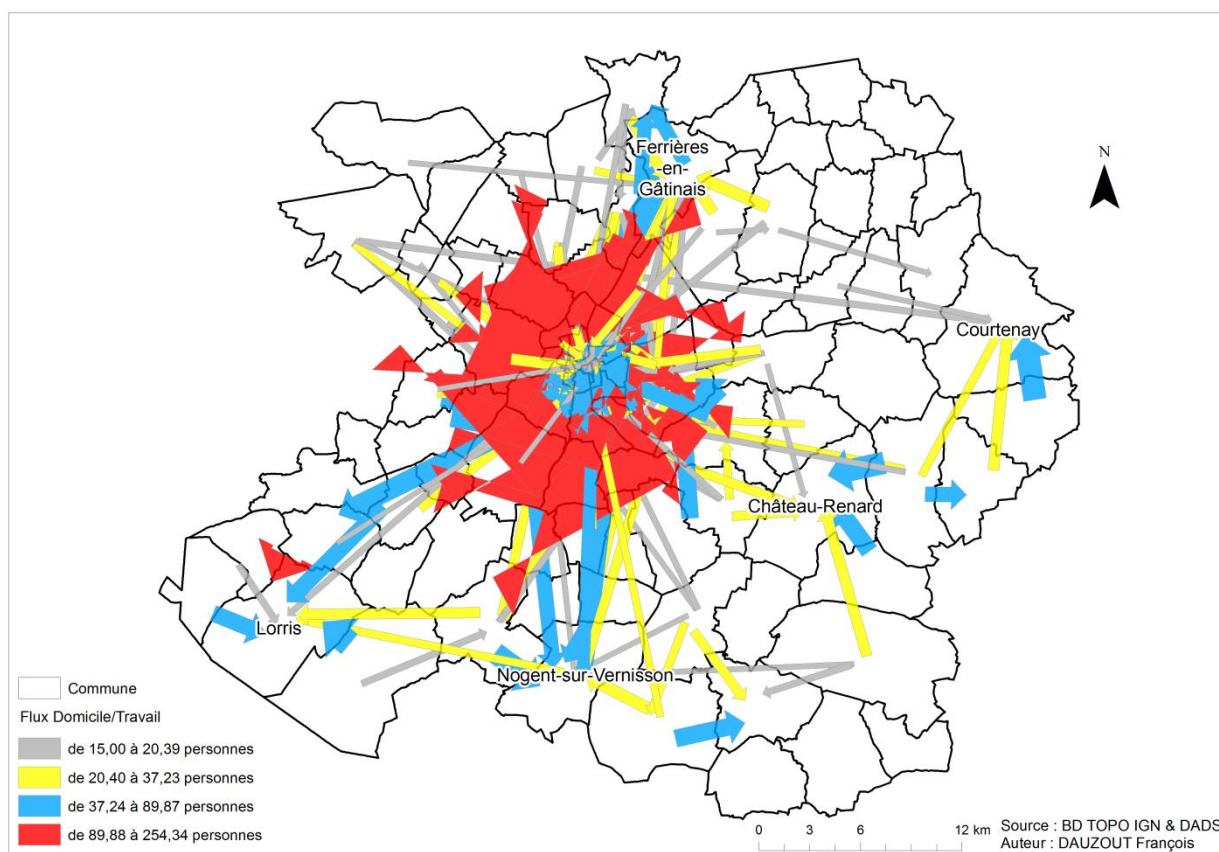
Limites et synthèse

a. Limites des données

La principale limite d'une modélisation de l'accessibilité gravitaire réside en l'hétérogénéité des données. En effet, nous avons pu nous en rendre compte lors de l'analyse des flux domicile/travail à destination du SCoT Montargois en Gâtinais, qu'il n'y avait pas de lien entre les différentes bases de données. Nous disposons de la population active des IRIS sans savoir où celle-ci se rend dans le cadre de la mobilité professionnelle et inversement, nous connaissons le taux de salariés de chaque IRIS sans connaître la provenance de ses personnes. Ceci constitue alors un frein à la modélisation de l'accessibilité gravitaire.

b. Vers l'identification de centralités de second ordre

Cependant, cette étude de l'accessibilité gravitaire nous aura permis d'identifier des pôles secondaires sur le territoire du SCoT Montargois en Gâtinais en termes de mobilité domicile/travail.



Carte 21 - Représentation des flux domicile/travail pour les 80% des couples (I,J) les plus proche de la droite de régression initiale

Sur la carte ci-dessous, nous avons représenté les flux domicile/travail correspondant aux 80% des couples (I,J) les plus proche de la droite de régression initiale. Il faudrait une analyse plus poussée pour démêler ce nœud de flux au cœur du territoire mais on peut d'ores et déjà identifier des pôles secondaires au sein des IRIS de Château-Renard, Courtenay, Ferrière-en-Gâtinais, Lorris et Nogent-sur-Vernisson. On retrouve les mêmes centralités secondaires que nous avons pu déterminer avec l'accessibilité zonale.

Tout au long de ce P.F.E. nous avons pu constater qu'il était plus ou moins difficile de prendre en compte toutes les composantes de l'accessibilité dans une même mesure. En effet, que ce soit dans les outils informatiques, ou dans les modèles de calcul de l'accessibilité, plus d'une sont souvent écartés par soucis de clarté du modèle et facilité de l'outil.

C'est pour cela que T.R.U.C. a essayé de mettre au point des méthodes et des techniques de mesures englobant au maximum toutes les composantes de l'accessibilité définies dans l'article de Geurs et van Wee [GEURS, 2004] afin d'obtenir une représentation fiable, exhaustive, optimale et adaptable de l'accessibilité tout en prenant exemple sur territoire montargois avec la mise en place du SCoT. C'est pour cela que dans cette étude deux modèles ont été utilisés et étudiés, ainsi qu'une analyse des outils informatiques permettant la mise en place de ces modèles.

Ainsi, nous avons pu observer que les outils étudiés n'étaient pas forcément adaptés à la prise en compte de toutes les composantes de l'accessibilité, de par leur complexité interne et leur mise en relation peu simple. De plus, il sera signalé que malgré une prise en main pouvant être rapide, leur lenteur d'exécution sur un nombre de données conséquent peut rebuter les utilisateurs pour modéliser l'accessibilité en lien à l'urbanisme. C'est pourquoi d'autres outils, plus adaptés aux aménageurs, nécessitent d'être développés.

En outre, nous avons pu voir dans un premier temps l'accessibilité zonale et le modèle probabiliste de Huff qui, après corrélation avec les flux domicile-travail, a mis en évidence des centralités de second ordre localisées en bordure du SCoT, et qui correspondent aux portes d'entrée du territoire montargois. Quant au modèle gravitaire, il avait pour objectif de déterminer les paramètres intrinsèques du territoire (frein au déplacement et facteur d'homogénéisation). Néanmoins, le modèle et les critères choisis n'ont pas permis d'aboutir à des résultats satisfaisants et probants. Cependant, il se dégage tout de même une tendance au niveau des flux domicile-travail confirmant l'existence de centralités périphériques sur le territoire d'étude.

Finalement, après ces quatre années de recherches au sein de T.R.U.C., et malgré le nombre de travaux effectués, l'un des objectifs initiaux du contrat de recherche n'a pas totalement abouti. Il devra donc être développé un outil de modélisation de l'accessibilité lié à l'étalement urbain, et compléter les modèles étudiés dans cette étude par d'autres motifs de déplacements, comme les loisirs, les achats, etc. car seuls 21 % des déplacements sont dûs aux mobilités liés à l'emploi.

C'est pourquoi le projet TRUC s'ouvre sur un autre contrat de recherche qui prendra en compte d'autres paramètres dont la dimension « Occupation du sol », la congestion, etc. Il insistera sur la nécessité de partenariat entre les acteurs locaux de gestion du territoire et la recherche.

Articles scientifiques

- [BANISTER, 2001] BANISTER D., BERECHMAN Y. (2001), *Transport investment and the promotion of economic growth*, 9 p., *Journal of Transport Geography*, vol. 9, pp. 209-218.
- [DEBIZET, 2011] DEBIZET G. (2011), *L'évolution de la modélisation des déplacements urbains en France 1960-2005*, 15 p., *Flux*, n°85-86, pp. 8-21
- [DEYMIER, 2006] DEYMIER G. (2006), *Analyse spatio-temporelle de la capitalisation immobilière des gains d'accessibilité : l'exemple du périphérique de Lyon*, 42 p., *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°2007/4, pp. 755 à 795
- [GEURS, 2004] GEURS K., van WEE B. (2004), *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions*, 14 p., *Journal of Transport Geography*, n°12, pp. 127-140
- [GRASLAND, 2000] GRASLAND.C, les modèles d'interaction spatiale (2000/2001), Université Paris VII/ UFR GHSS – Licence de Géographie. 24 p.
- [GUTIERREZ, 1996] GUTIERREZ J., URBANO P. (1996), *Accessibility in the European Union: the impact of the trans-European road network*, 10 p., *Journal of Transport Geography*, vol. 4, n°1, pp. 15-25
- [LEONE, 2013] LEONE F. (2013), *Modélisation de l'accessibilité territoriale pour l'aide à la gestion de crise tsunami (Mayotte, France)*, 24 p., *Annales de géographies*, n°693, pp.502-504
- [MORRIS, 1978] MORRIS J.M. (1978), *Accessibility indicators for transport planning*, 19 p.
- [WEIBULL, 1976] WEIBULL J. W. (1976), *An axiomatic approach to the measurement of accessibility*, 23 p., *Regional sciences and urban economics*, n°6, pp.357-379

Ouvrages

- [BAVOUX, 2005] BAVOUX J.J. (2005), *Géographie des transports*, 21 p, Edition Armand Colin, pp. 41-61
- [CALOZ, 2011] CALOZ R. (2011), *Analyse spatiale de l'information géographique*, 32 p., Science et ingénierie de l'environnement, pp. 191-211
- [DOMENCICH, 1975] DOMENCICH T., MCFADDEN D. (1975). *Urban travel demand: a behavioral analysis*, North-Holland, Amsterdam,
- [PINI, 1995] PINI G. (2004), *L'interaction spatiale*, 20 p., *Encyclopédie de géographie* 2^{ème} édition, pp. 557-576
- [RENARD, 2011] RENARD V. (2011), *Grenelle II : la fin de l'étalement urbain ?*, Métropolitiques, <http://www.metropolitiques.eu/Grenelle-II-la-fin-de-l-etatement.html>, consulté le 14/05/2014

Thèses, rapports

- [ALAEDDINE, 2014] ALAEDDINE H. (2014), *Un modèle d'optimisation spatio-temporel pour l'évacuation de la population exposée aux catastrophes naturelles*, EPU Tours
- [COUTARD, 2001] COUTARD O., DUPUY G., FOL S. (2001), *La pauvreté péri-urbaine : dépendance locale ou dépendance automobile*, 29 p.
- [DI SALVO, 2006] DI SALVO M (2006), *Calculs d'accessibilité*, Rapport d'étude du centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques 41p.
- [FIET, 2013] FIET R., VALLAT E. (2013), *L'accessibilité comme indicateur de la vulnérabilité d'un territoire face aux inondations*, EPU Tours, 58 p.
- [GANE, 2011] GANE V., SERRIERE M. (2011), *La localisation des activités en tant que composante de l'étalement urbain : Accessibilité réseau sur l'aire urbaine de Montargis*, EPU Tours, 88 p.
- [HANSEN, 1959] HANSEN W. G. (2007), *Accessibility and residential growth*, 51 p.
- [NOBILI, 2012] NOBILI C., WALKOWICZ J. (2012), *Vitesse, flux et accessibilité : Analyse et application à l'échelle du SCoT de Montargis*, EPU Tours, 94 p.
- [THIBAUT, 1998] THIBAUT S. (1998), *Centralité émergente : le nord de Tours*, Université de Tours, 138 p.
- [THIBAUT, 2003] THIBAUT S. (2003), *Mathématiques Espaces et Sciences Sociales*, Université de Tours, MSH Ville et territoires, 116 p.
- [VANDENBULCKE, 2007] VANDENBULCKE G. (2007), *Accessibility indicators to place and transports*, 353 p.

Table des illustrations

Cartes

Carte 1 - Accessibilité temporelle	19
Carte 2 - Accessibilité métrique	19
Carte 3 - Accessibilité généralisée "Aller"	20
Carte 4 - Ecart entre AGA et AGR	21
Carte 5 - Simplification du réseau ferré en Europe entre les principales villes européennes (VANDENBULCKE, 2007)	22
Carte 6 - Accessibilité potentielle aux principaux centres d'activités économiques, 1992 (Guttérier, 1996).....	23
Carte 7 - Cartes représentant le modèle de Huff pour des hypermarchés	24
Carte 8 - Un SCoT au carrefour de la région Centre, Bourgogne et Île-de-France.....	26
Carte 9 - Le périmètre d'étude et le réseau routier	26
Carte 10 - Agrandissement sur les trois communes irisées	27
Carte 11 - Représentation des P_{ij} (%) et interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Surf_dev	43
Carte 12 - Représentation des P_{ij} (%) et interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Nb_etab.....	44
Carte 13 - Représentation des P_{ij} (%) et interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Nb_emploi .	46
Carte 14 - Analyse de la représentation des P_{ij} (%) et de l'interpolation IDW pour le critère d'attraction A_j Nb_etab	47
Carte 15 - Le réseau routier du SCoT montargois	48
Carte 16 - Représentation du nombre de salariés par IRIS sur le territoire du SCoT	55
Carte 17 - Représentation de la population active par IRIS sur le territoire du SCoT	56
Carte 18 - Représentation des flux domicile/travail pour un risque d'erreur de 5 %.....	58
Carte 19 - Représentation des flux domicile/travail pour un risque d'erreur entre 5% et 10 %	59
Carte 20 - Représentation des flux domicile/travail pour un risque d'erreur de entre 10 % et 20 %.....	60
Carte 21 - Représentation des flux domicile/travail pour les 80% des couples (I,J) les plus proche de la droite de régression initiale	61
Carte 22 - Exemple de Calcul de matrice OD	72
Carte 23 - AGA-AGR (Réseau normal).....	76
Carte 24 - AGA-AGR (Réseau pondéré)	76
Carte 25 - Accessibilité généralisé « retour ».....	77

Figures

Figure 1 - Schéma explicatif des liens entre l'étalement urbain, l'accessibilité ainsi que ses composantes	17
Figure 2 - Propriétés de la fonction nouvel itinéraire.....	32
Figure 3 - Exemple d'itinéraire	32
Figure 4 - Exemple de feuille de route	33
Figure 5 - Propriétés de la fonction nouvel zone de desserte	34
Figure 6 - Exemple de zones de desserte	34
Figure 7 - Propriétés de la fonction nouvelle ressource la plus proche.....	35
Figure 8 - Exemple de table attributaire d'itinéraires nouvelle ressource la plus proche	36
Figure 9 - Propriétés des lignes Origine Destination	36
Figure 10 - Exemple de table attributaire pour la ressource optimal	37
Figure 11 - Schéma explicatif de l'approche "Départ"	40
Figure 12 - Schéma explicatif de l'approche "Arrivée"	40

Graphiques

Graphe 1 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Surf_dev	42
Graphe 2 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Nb_etab	44
Graphe 3 - P_{ij} (%) en fonction des IRIS, critère Nb_emploi	45
Graphe 4 - Nuage de point et régression linéaire	57
Graphe 5 - Régression linéaire avec un risque d'erreur de 5 %	58
Graphe 6 - Régression linéaire avec un risque d'erreur de 10 %	59
Graphe 7 - Régression linéaire avec un risque d'erreur de 20 %	60

Tableaux

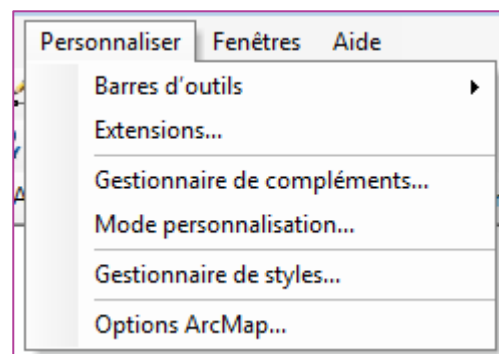
Tableau 1 - Matrice de proximité (coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson)	41
Tableau 2 - Résumé statistique des IRIS	46
Tableau 3 - Exemple de pondération des flux domicile/travail	53
Tableau 4 - Exemple de pondération des flux domicile/travail	53
Tableau 5 - Jointure des abscisses et des ordonnées par le couple (I J)	57
Tableau 6 - Partie d'une table de calcul des distances D_{ij}	73

Sigles :	Désignation :
AG	Accessibilité Généralisée
AGA	Accessibilité Généralisée Aller
AGR	Accessibilité Généralisée Retour
CLAP	Connaissance Locale de l'Appareil Productif
DADS	Déclaration Annuelles des Données Sociales
ESRI	Environmental Systems Research Institute
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
IRIS	Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
OD	Origine Destination
PFE	Projet de Fin d'Études
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SIG	Système d'information Géographique
TRUC	Transports Réseau Urbanisme et Croissance
ZA	Zone d'Activité

Annexe 1 – Démarche pour réaliser une matrice OD

Une matrice Origine / Destination ou matrice OD est une table contenant l'ensemble des distances minimales (en temps ou en kilomètre) pour parcourir le réseau d'un point A vers un point B. Par réseau, on sous-entend un système d'éléments interconnectés, comme des tronçons (lignes) et des jonctions (points, nœuds), qui représentent des itinéraires possibles de déplacement.

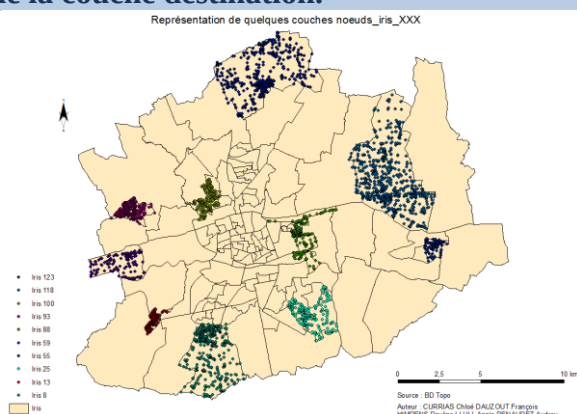
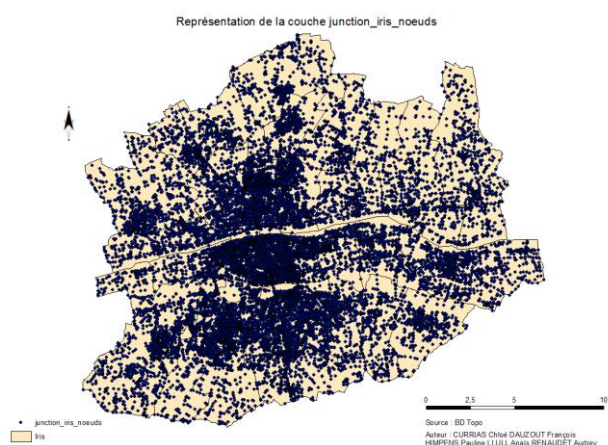
Pour ce faire nous avons utilisé l'extension ArcGIS Network Analyst. Ce logiciel permet d'anticiper le comportement humain et de calculer les distances minimales pour accéder à certaines aires d'attraction. Pour charger ce logiciel il suffit de cliquer sur l'onglet Network Analyst dans le menu Personnaliser → Extension. Ensuite pour afficher le programme dans la barre d'outils, il faut cocher Network Analyst dans le menu Personnaliser → Barre d'outils.



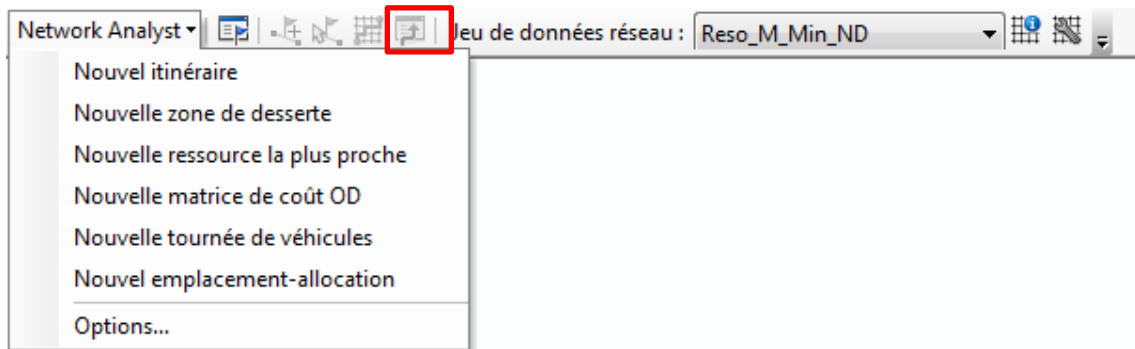
Le point de départ de notre démarche est une couche contenant l'ensemble des 97 iris (carte 1) ainsi qu'une couche réseau ou jeu de données réseau contenant les tronçons et les nœuds propres à notre territoire d'étude (carte 2). La couche réseau contient des nœuds externes au territoire car pour aller d'un nœud A vers un nœud B (appartenant au territoire) on peut être amené à sortir du territoire.

Etape n°1 : Réalisation des couches origines et de la couche destination.

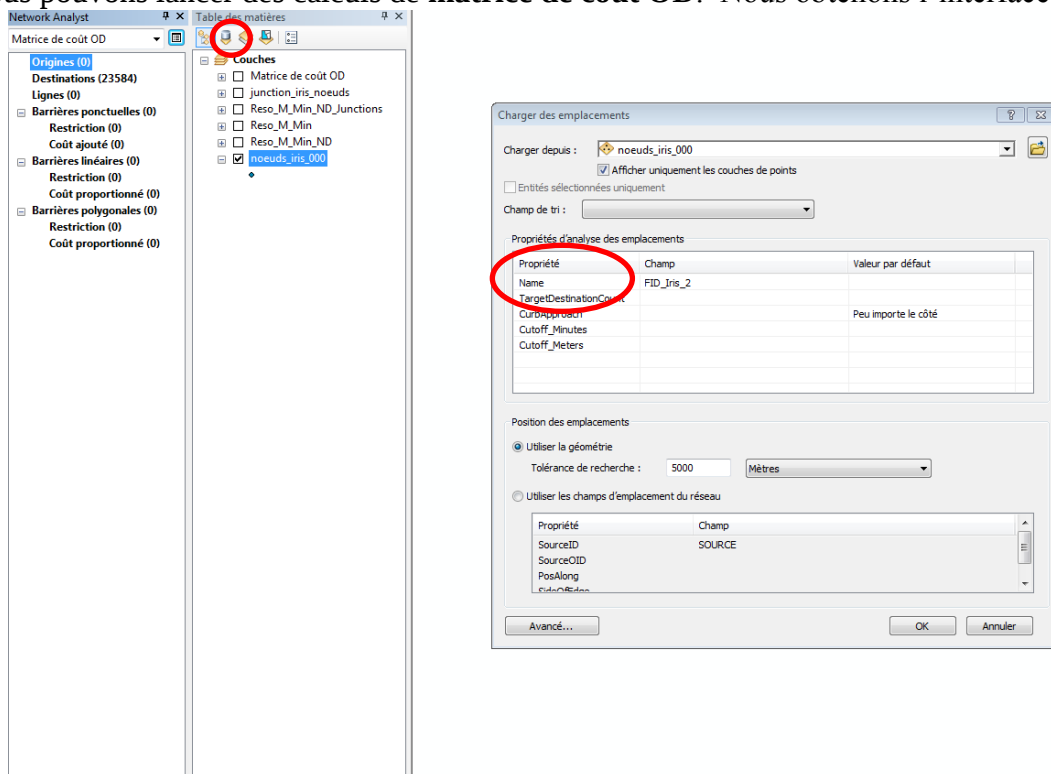
Pour ce faire nous avons créé une couche origine pour chacun des 97 IRIS que nous avons par la suite intersectée avec la couche réseau afin d'obtenir une couche contenant tous les nœuds compris dans un IRIS. On nommera ces couches **nœuds_iris_XX** ou XX est l'identifiant de l'IRI.



Pour former une couche destination contenant l'ensemble des nœuds des IRIS, une intersection a été réalisée entre la couche réseau et la couche des IRIS. Cette couche contient 23 584 nœuds. Le nombre de nœuds de cette couche est inférieur à celui de la couche réseau car elle ne contient pas les nœuds extérieurs au territoire. On a appelé cette couche **junction_iris_nœuds**



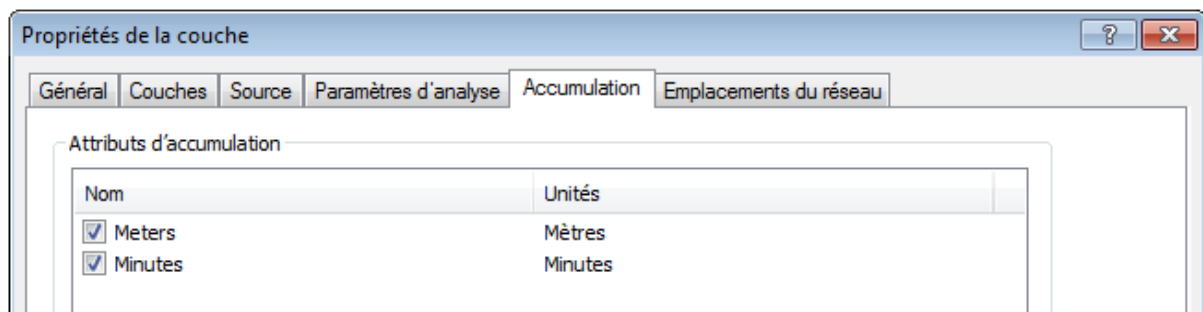
Maintenant que nous avons un jeu de données réseau, nos couches origines et la couche destination, nous pouvons lancer des calculs de **matrice de coût OD**. Nous obtenons l'interface ci-dessous :



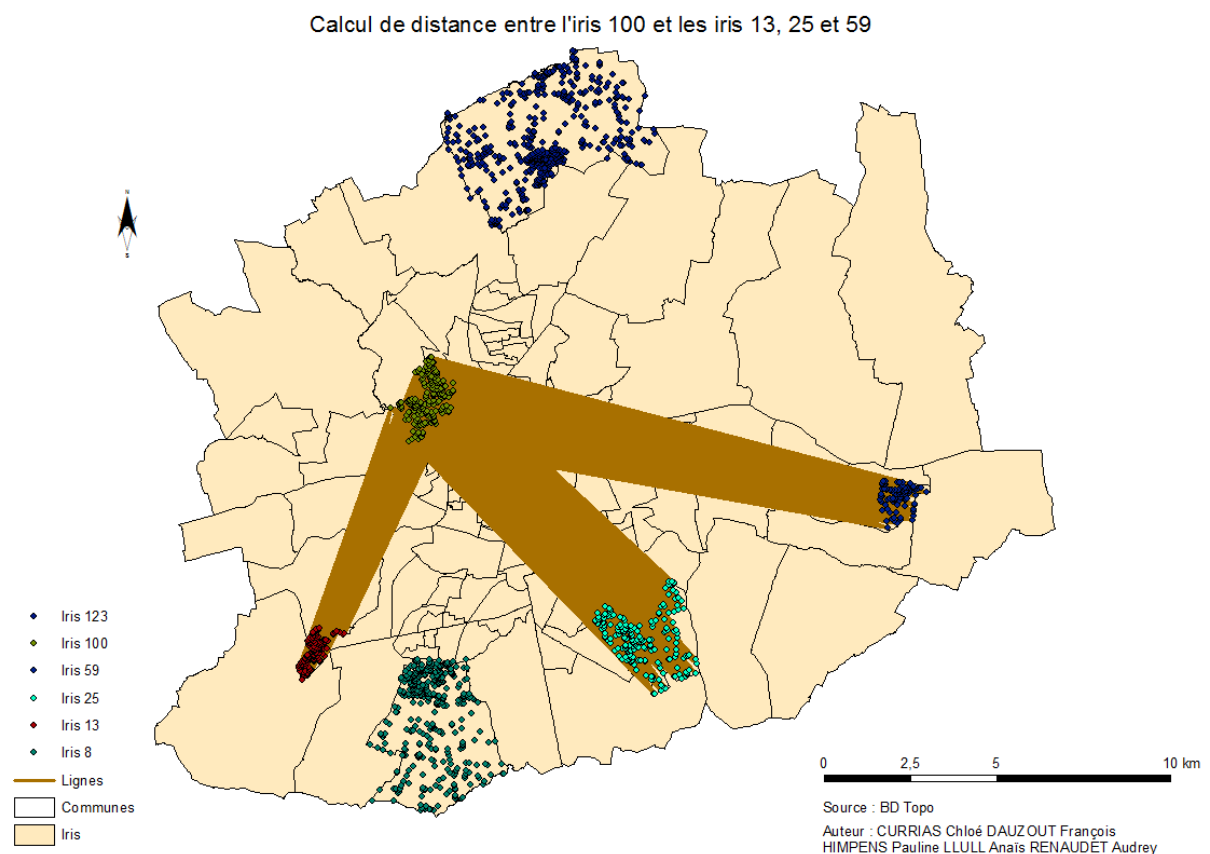
On charge alors dans l'onglet **Origine** une couche **nœuds_iris_XX**. Pour cela on clique sur origine puis charger des emplacements. Si on ne va pas plus loin, le logiciel affecte un nom aléatoire aux emplacements d'origines et de destinations. C'est pourquoi on doit réaliser un paramétrage afin de retrouver l'IRIS associé à l'emplacement d'origine ou de destination. Pour ce faire, à l'intersection de la colonne **Champ** et de la ligne **Name** on fixe l'identifiant de l'IRIS, ce qui correspond au champs **Fid_Iris_2**.

On réalise la même opération avec l'onglet **Destination** et la couche **junction_iris_nœuds**. Néanmoins, comme il faut charger 23 584 nœuds, cette opération peut prendre plusieurs heures. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'enregistrer le fichier ArcGIS avec l'extension .mxd pour pouvoir ensuite le réutiliser sans avoir à répéter l'opération.

L'onglet **Options** permet d'accéder aux **propriétés de la couche**. A ce moment nous pouvons demander au logiciel de calculer les distances temps et/ou les distance kilométriques.



On peut alors lancer le calcul de distance des nœuds d'un IRIS vers les nœuds de tous les IRIS en cliquant sur l'onglet recherche . On peut observer un exemple de calcul de distance ci-dessous (carte 3) ainsi qu'une partie de la table obtenue en sortie. Pour arriver à une matrice origine destination complète, on se doit de répéter cette opération pour chaque IRIS, c'est-à-dire 97 fois. Nous avons renommé ces tables **IrisXX_OD** où XX est l'identifiant de l'IRIS de départ.

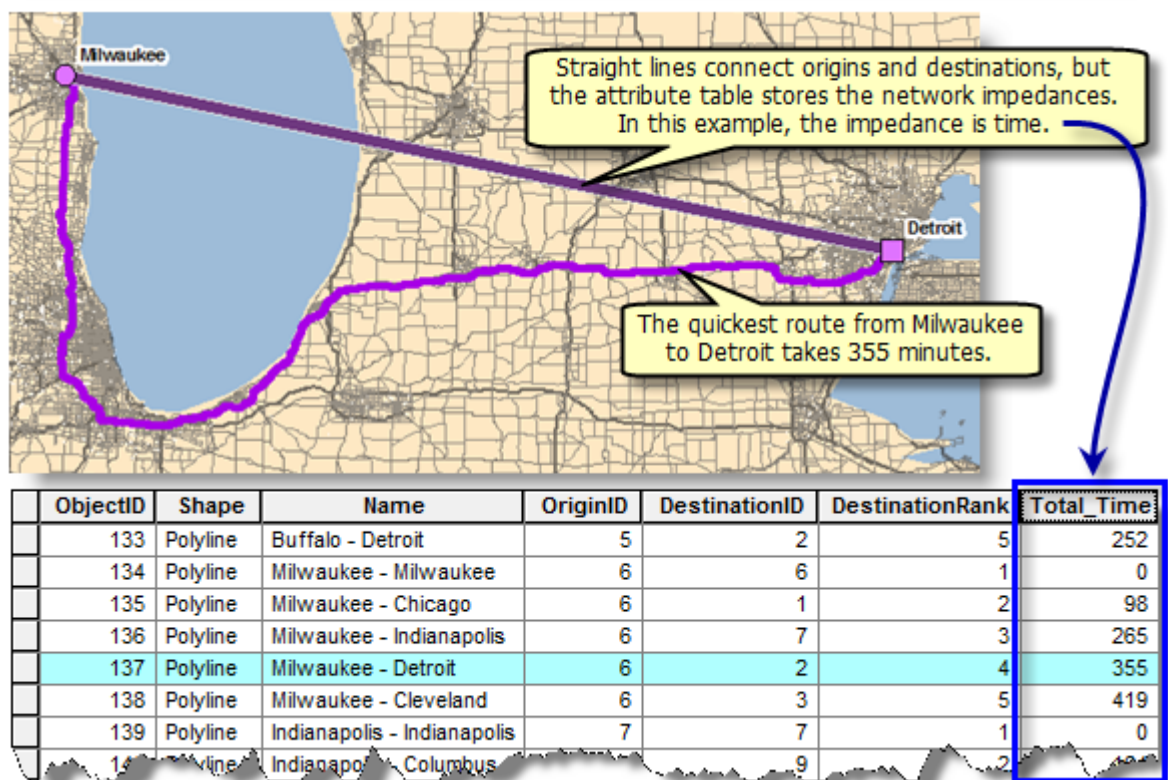


Carte 22 - Exemple de Calcul de matrice OD

FID	Shape *	ObjectID	Name	OriginID	Destinatio	Destinat 1	Total Minu	Total Mete
0	Polyligne	22769563	115 - 115	970	10062	1	0	0
1	Polyligne	22769564	115 - 115	970	10080	2	0,633	211
2	Polyligne	22769565	115 - 115	970	10235	3	0,681	227
3	Polyligne	22769566	115 - 115	970	10729	4	1,389	463
4	Polyligne	22769567	115 - 115	970	10761	5	1,446	482
5	Polyligne	22769568	115 - 115	970	10755	6	1,491	497
6	Polyligne	22769569	115 - 115	970	10776	7	1,659	553
7	Polyligne	22769570	115 - 115	970	10825	8	1,701	567
8	Polyligne	22769571	115 - 115	970	10798	9	1,7694	624
9	Polyligne	22769572	115 - 115	970	10972	10	1,929	757
10	Polyligne	22769573	115 - 115	970	10957	11	2,0058	821
11	Polyligne	22769574	115 - 115	970	10539	12	2,028	676
12	Polyligne	22769575	115 - 115	970	10925	13	2,0586	865
13	Polyligne	22769576	115 - 115	970	10986	14	2,0838	847
14	Polyligne	22769577	115 - 115	970	10644	15	2,154	718
15	Polyligne	22769578	115 - 115	970	11042	16	2,1786	965
16	Polyligne	22769579	115 - 115	970	11010	17	2,2098	889
17	Polyligne	22769580	115 - 115	970	10658	18	2,2686	1040
18	Polyligne	22769581	115 - 115	970	11099	19	2,3898	1141
19	Polyligne	22769582	115 - 115	970	10599	20	2,469	1207
20	Polyligne	22769583	115 - 115	970	11425	21	2,5338	1261
21	Polyligne	22769584	115 - 115	970	11322	22	2,6124	905

Tableau 6 - Partie d'une table de calcul des distances Dij

On remarque que pour des raisons de performance, les distances sont symbolisées par des lignes droites, on ne peut donc connaître les chemins minimaux. Néanmoins, le logiciel garde en mémoire le coût du réseau et non la distance en ligne. Le graphique ci-après affiche les résultats d'une analyse de matrice de coût OD configurée pour trouver le coût pour atteindre les quatre destinations les plus proches à partir de chaque origine.

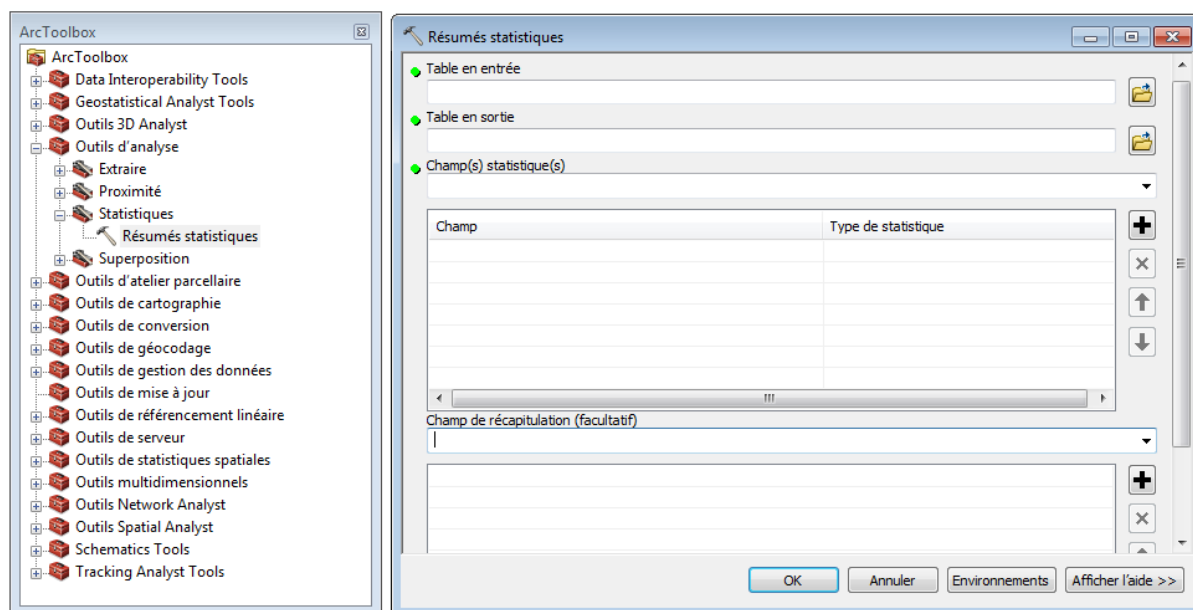


Source : <http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/004700000032000000/>

Remarque⁶ : Les solveurs de ressource la plus proche et de matrice de coût OD effectuent des analyses très semblables. La différence principale réside dans la sortie et la vitesse de calcul. La matrice de coût OD génère des résultats plus rapidement mais ne peut pas retourner les formes réelles ou les feuilles de route des itinéraires. Elle est conçue pour résoudre rapidement des problèmes M x N importants et par conséquent ne contient pas en interne les informations requises pour générer les formes et les feuilles de route des itinéraires. Le solveur de ressource la plus proche permet de retourner des itinéraires et des feuilles de route, mais effectue les analyses plus lentement que le solveur de matrice de coût OD.

Etape n°3 : Résumés statistiques

En l'état, les tables que nous avons obtenu contiennent des millions de lignes et sont inexploitable sur des logiciels comme Excel qui ne peut traiter que 1 048 576 lignes et le logiciel Access est limité à 2 Go de données. C'est pourquoi nous avons exploité ces tables directement dans ArcGIS. Nous avons réalisé un résumé statistique pour calculer la moyenne des temps de parcours entre les nœuds d'un IRIS et les nœuds de tous les IRIS du territoire.



En table en entrée, on charge une des 124 couches **IrisXX_OD**, où XX fait référence à l'identifiant de l'IRIS.

En table de sortie, on lui donne le nom **IrisXX_Stat**, où XX est l'identifiant de l'IRIS.

En champs statistiques, on charge les champs **Total_Minu** et **Total_Mete** sur lesquels on réalise une statistique du type MEAN ou moyenne.

Enfin, en champ de récapitulation on choisit le champ NAME. Cela signifie que la moyenne est réalisée à chaque changement de numéro d'IRIS.

De ce fait, on obtient une table de 97 lignes contenant la distance (temps ou kilométrique) moyenne de l'IRIS XX vers l'ensemble des IRIS du terrain d'étude. On réalise cette opération 97 fois et à présent on peut insérer ces résultats dans une matrice carrée 97 x 97, ce sont les distances temps d'un IRIS i vers un IRIS j, ce qu'on appelle matrice D_{ij} .

⁶ <http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/004700000032000000/>

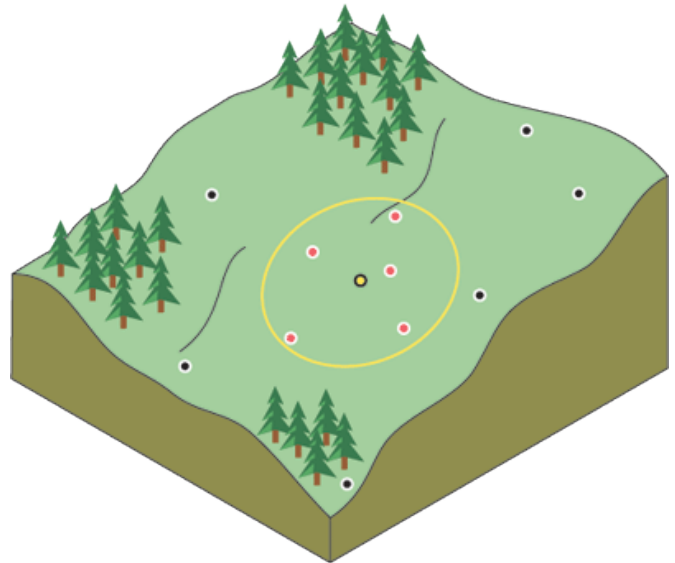
Annexe 2 – Interpolation IDW ou Pondération inverse à la distance

Extrait issu de l'aide⁷ du logiciel ArcGIS :

L'interpolation IDW « Interpole une surface raster à partir de points à l'aide d'une méthode de pondération par l'inverse de la distance (IDW). »

« L'interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) détermine les valeurs de cellule via la combinaison pondérée de manière linéaire d'un ensemble de points d'échantillonnage. La pondération est une fonction d'inverse de la distance. La surface qui est interpolée doit être celle d'une variable dépendante de l'emplacement.

Cette méthode suppose que l'influence de la variable tracée décroît avec la distance par rapport à l'emplacement échantillonné. Par exemple, lors de l'interpolation de la surface du pouvoir d'achat des consommateurs pour l'analyse d'un site de détaillants, le pouvoir d'achat d'un emplacement plus lointain aura moins d'influence car les gens ont tendance à effectuer leurs achats à côté de chez eux. »



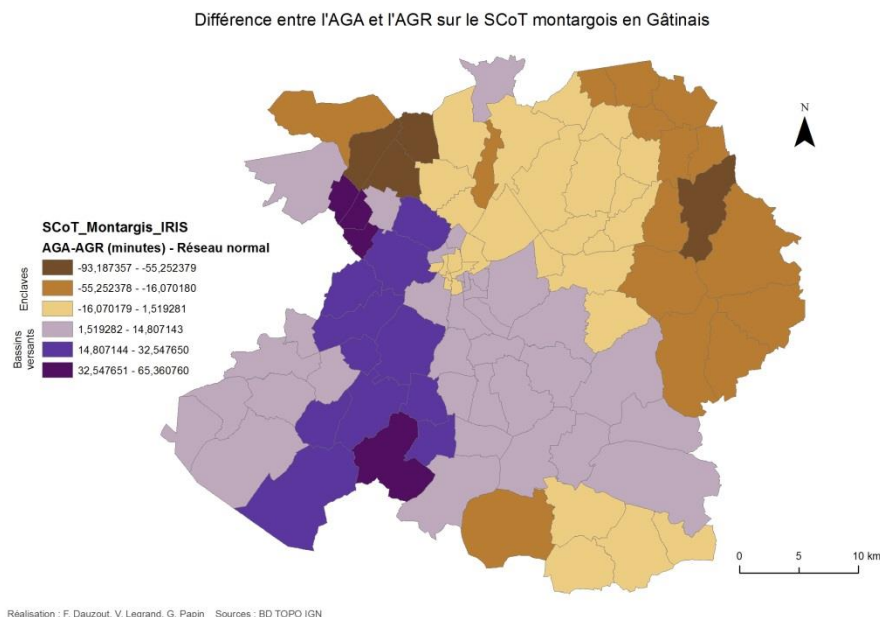
Concrètement, il s'agit d'interpoler des informations recensées géographiquement sur des zones qui ne disposeraient pas de ces informations. Dans notre cas, cela nous permet de nous rendre compte des zones d'influence des IRIS car nous travaillons à partir des centroïdes, ce qui n'a aucune valeur en réalité (une ville peut ne pas être au centre de ses limites communales). Il s'agit donc bien ici de donner une idée et d'aider à représenter les centralités et les périphéries du territoire. En effet, la répartition des points est trop éparse pour obtenir des valeurs fiables. Il faudra donc prendre en compte les résultats comme des aires d'influence plus que comme des valeurs.

De plus, cette méthode d'interpolation s'applique bien à notre cas par le fait qu'elle prend en compte la distance aux points interpolés en la pondérant par un facteur d'éloignement (généralement 2) que l'on pourrait rapprocher de notre frein au déplacement β .

⁷ <http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000075000000/>

Annexe 3 – Étude de la différence entre l'AGA et de l'AGR

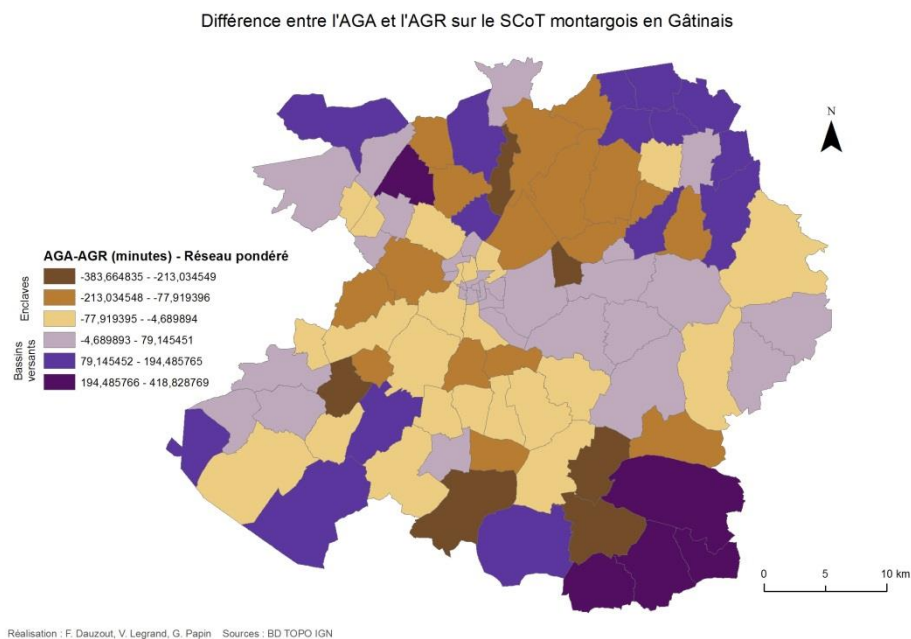
En soustrayant l'accessibilité Retour (AGR) à l'accessibilité Aller (AGA) on se rend compte qu'il existe des bassins versants (la différence est positive, c'est-à-dire qu'il est plus facile de quitter l'IRIS que d'y revenir), et des enclaves (la différence est négative, il est plus facile d'y aller que d'en repartir) sur le territoire.



Carte 23 - AGA-AGR (Réseau normal)

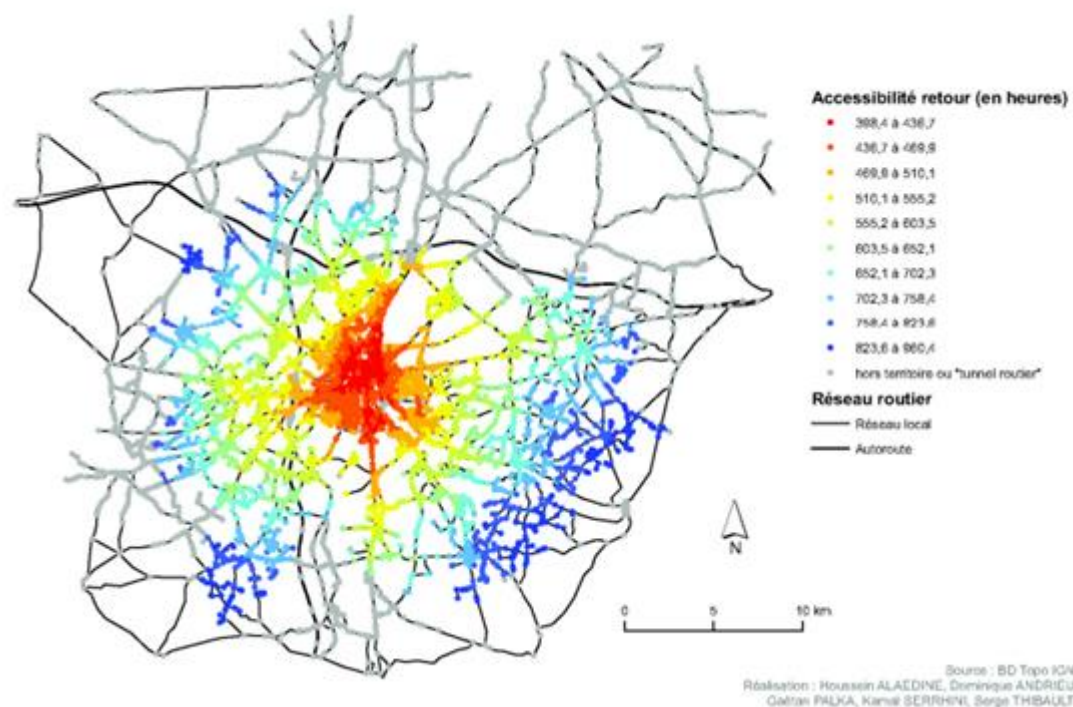
En effet, sur les cartes ci-dessus et ci-dessous, nous pouvons les observer. Concernant le réseau «dit normal (la vitesse n'a pas été pondérée), on se rend compte d'une zone de bassin versant à l'ouest et au sud-ouest du SCoT, et des enclaves au nord du territoire. On peut voir que les valeurs les plus fortes de ces enclaves et bassins versants (couleurs foncées) se situent à des endroits où l'autoroute dispose d'une sortie.

Par contre, ces deux zones bien définies, se retrouvent éclatées quand l'on prend en compte le nombre de voies pour pondérer le temps passé sur le tronçon (Temps passé sur le tronçon / Nombre de voies du tronçon). On peut alors se rendre compte que l'accessibilité sur le territoire a une toute autre distribution, bien plus aléatoire que précédemment. Certaines enclaves deviennent des bassins versants et réciproquement. La carte est alors beaucoup plus difficile à analyser voire impossible à émettre une règle et des corrélations. On se rend cependant compte que les bassins versants se retrouvent distribués en bordure de SCoT ce qui pourrait correspondre avec leur desserte en grandes infrastructures routières (autoroute, routes d'importance départementale), leur permettant de quitter facilement ces IRIS



Carte 24 - AGA-AGR (Réseau pondéré)

Annexe 4 - Accessibilité généralisée retour sur le territoire de Montargis



Carte 25 - Accessibilité généralisé « retour »

Table des matières

AVERTISSEMENT	5
FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ÉTUDES EN GÉNIE DE L'AMÉNAGEMENT	7
REMERCIEMENTS	9
SOMMAIRE	11
INTRODUCTION	15
CONTEXTE DE RECHERCHE.....	16
ÉTAT DE L'ART	17
ACCESSIBILITÉ.....	17
a. Accessibilité réseau	18
b. Accessibilité basée sur la distribution spatiale des activités ou accessibilité zonale.....	21
c. Accessibilité basée sur l'individu	24
d. Accessibilité utile.....	25
PRÉSENTATION DU TERRITOIRE	26
LOCALISATION	26
LE PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE.....	26
IRIS.....	27
ACCESSIBILITÉ ET SYSTÈMES D'INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES.....	28
ACCESSIBILITÉ ET SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUES.....	28
a. Les systèmes d'informations géographiques	28
Définition.....	28
ArcGIS	29
b. Données en entrée	30
c. Accessibilité et fonctions d'ArcGIS Network Analyst	31
Nouvel itinéraire.....	31
Nouvelle zone de desserte	33
Nouvelle ressource la plus proche	34
Nouvelle matrice de coût OD	36
Nouvelle tournée de véhicule	37
Nouvel emplacement-allocation	37
L'ACCESSIBILITÉ ZONALE, UTILISATION DU MODÈLE PROBABILISTE	38
MÉTHODE(S).....	38
a. Le modèle de Huff ou la nécessité d'un modèle probabiliste	38
b. Le choix de l'attraction (A_j).....	38
c. Le choix de la distance séparant les zones (D_{ij})	39
d. Le frein au déplacement (β)	39
e. Approches du modèle.....	39
RÉSULTATS.....	41
a. Corrélations.....	41
b. Critères d'attraction A_j	42
Critère « Surface bâtie développée » (Surf_dev).....	42
Critère « Nombre d'établissements » (Nb_etab)	44
Critère « Nombre d'emplois » (Nb_emploi)	45
Résumé statistique	46
ANALYSE & SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	47
a. Les centralités périphériques.....	47
b. Force du D_{ij} force de l' A_j	48
LIMITES & PROLONGEMENTS	49
ACCESSIBILITÉ GRAVITAIRE	50
LE MODÈLE GRAVITAIRE	50

a. <i>Le choix du modèle</i>	50
b. <i>Objectif de l'étude</i>	51
CONCEPTION DES DIFFÉRENTES BASES DE DONNÉES	52
a. <i>Flux de déplacements T_{ij}</i>	52
Pondération des flux	52
Analyse de la mobilité domicile/travail	53
b. <i>Attraction A_j</i>	55
c. <i>Génération G_i</i>	56
d. <i>Matrice Origine-Destination (D_{ij})</i>	56
DÉTERMINATIONS DES CONSTANTES A ET B	57
a. <i>Méthode</i>	57
b. <i>Résultats</i>	57
ESTIMATION PAR INTERVALLE DE CONFIANCE	57
a. <i>Risque d'erreur 5%</i>	58
b. <i>Risque d'erreur 10%</i>	59
c. <i>Risque d'erreur 20%</i>	60
LIMITES ET SYNTHÈSE	61
a. <i>Limites des données</i>	61
b. <i>Vers l'identification de centralités de second ordre</i>	61
CONCLUSION	63
BIBLIOGRAPHIE	65
ARTICLES SCIENTIFIQUES	65
OUVRAGES.....	65
THÈSES, RAPPORTS	66
TABLE DES ILLUSTRATIONS	67
CARTES	67
FIGURES	67
GRAPHIQUES	68
TABLEAUX.....	68
INDEX DES SIGLES	69
ANNEXES	70
ANNEXE 1 – DÉMARCHE POUR RÉALISER UNE MATRICE OD	70
ANNEXE 2 – INTERPOLATION IDW OU PONDÉRATION INVERSE À LA DISTANCE	75
ANNEXE 3 – ÉTUDE DE LA DIFFÉRENCE ENTRE L'AGA ET DE L'AGR	76
ANNEXE 4 – ACCESSIBILITÉ GÉNÉRALISÉE RETOUR SUR LE TERRITOIRE DE MONTARGIS	77
TABLE DES MATIÈRES	78

Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

CITERES

UMR 6173
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

Équipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement

Directeurs de recherche :
SERRHINI Kamal
THIBAUT Serge
ANDRIEU Dominique

DAUZOUT François
PAPIN Guillaume
LEGRAND Virgile
Projet de Fin d'Études
DA5
2013-2014

Accessibilités et aménagement du territoire. Quels outils et quels critères ? **Étude à l'échelle du SCoT Montargois en Gâtinais.**

Résumé :

L'accessibilité est au cœur de plusieurs domaines en aménagement du territoire, dont l'un d'entre eux, qui est devenu une problématique depuis quelques années, l'étalement urbain. Effectivement, le rôle de l'accessibilité est de plus en plus mis en cause par les experts dans le développement rapide dont a fait preuve l'urbanisation ces dernières décennies.

C'est dans ce contexte que le projet T.R.U.C. a été mis en place entre la Région Centre, l'université d'Orléans, l'université de Tours et la DDE 45 afin d'étudier et de modéliser la croissance urbaine et l'étalement urbain.

Ce P.F.E. s'inscrit donc dans cette démarche et a pour objectif l'étude des outils informatiques actuel ainsi que deux des nombreux modèles d'accessibilité existant aujourd'hui, à savoir le modèle de Huff et le modèle gravitaire. Ceci est fait dans le but de comprendre et trouver les outils qui permettrait la modélisation d'une accessibilité réaliste et identifiable par les acteurs du territoire afin d'en comprendre les tenants et les aboutissants, et mesurer son impact sur l'étalement urbain.

Ce rapport fait ainsi apparaître des centralités périphériques sur le territoire du SCoT de Montargis et étudie leurs interactions dans les flux domicile-travail, afin d'améliorer les précédentes modélisations d'accessibilité infrastructurelle réalisées par le projet T.R.U.C.

Mots Clés : Accessibilité, Huff, modèle gravitaire, SIG, étalement urbain