

Projet de recherche SERRES

Modélisation des déplacements et des trafics

Évaluation des flux intrazonaux

Septembre 2014



Historique des versions des documents

Version	Date	Commentaire
1	19/09/2014	
2	19/12/2014	

Affaire suivie par :

Jacques Bougnol – Cerema / Direction territoriale Ouest
Département Villes et Territoires – Groupe Intermodalité
jacques.bougnol@cerema.fr – Tél : +33 (0)2 40 12 84 47

Rédacteur :

Jacques Bougnol – Cerema / Direction territoriale Ouest
Département Villes et Territoires – Groupe Intermodalité
jacques.bougnol@cerema.fr – Tél : +33 (0)2 40 12 84 47

Validation :

Date	Nom du valideur	Commentaire
18/09/2014	Eric Morau	

Mots-clés : déplacements, intrazone, modélisation, route

Résumé

L'évaluation des impacts environnementaux de la circulation routière doit souvent recourir à des modélisations de trafic, notamment des modèles dits « à quatre étapes » (génération, distribution, choix modal, affectation).

Ces outils comportent un découpage du territoire, plus ou moins fin, permettant de reconstituer des flux automobiles de zone à zone et de les affecter sur le réseau routier. En revanche, ils ne renseignent aucunement sur les flux *intrazonaux*, qui peuvent cependant, à certaines échelles, représenter des volumes très significatifs. L'estimation de ces flux constitue donc un enjeu important dans les démarches d'évaluation des effets environnementaux du trafic routier (consommation d'énergie, émission de polluants et GES).

L'objectif de ce projet de recherche est d'analyser les facteurs permettant d'estimer, à une échelle géographique donnée, Iris, commune ou canton, les caractéristiques des déplacements intrazonaux effectués par le mode routier : volumes produits, distances parcourues, vitesses pratiquées.

La démarche s'appuie sur des analyses spécifiques d'enquêtes transports-déplacements, mises en relation avec des bases de données socio-géographiques classiques (IGN, INSEE...).

La comparaison au niveau cantonal des estimations des deux modèles Sim'Ouest et Sim'44, élaborés par le Cerema (DterOuest/DVT/INT), offre l'opportunité de conforter ces analyses sur la base d'outils opérationnels existants.

Sommaire

<i>Introduction – organisation et objectifs du projet</i>	7
1. Principales étapes de la recherche	
2. Cas des trajets terminaux	
<i>I. Utilisation des enquêtes déplacements</i>	11
I.1. Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008	
I.2. Enquête Ménages Déplacements de Rennes 2008	
I.3. Enquête Déplacements d'Angers 2012	
I.4. Choix des données et observations les plus pertinentes	
I.5. Examen préliminaire des trajets intrazonaux dans l'EMD de Rennes 2008	
<i>II. Recherche de données zonales permettant d'établir une base de quantification des distances intrazonales</i>	18
II.1. Observations préliminaires relatives à l'estimation des longueurs des trajets intrazonaux routiers	
II.3. Recherche d'une base de données géographiques adaptée	
<i>III. Recherche d'une méthode d'estimation des distances à vol d'oiseau parcourues en intrazone</i>	22
III.1. Mise en relation des caractéristiques intrinsèques des zones et des distances moyennes parcourues en intrazone	
III.2. Extension à l'échelle cantonale	
<i>IV. Etablissement de fonctions reliant distances à vol d'oiseau et distances parcourues sur le réseau routier</i>	28
<i>V. Quantification des volumes de trajets intrazonaux routiers</i>	33
<i>VI. Estimation des vitesses pratiquées en intrazone</i>	35
<i>VII. Méthodes d'estimation des déplacements intrazonaux dans Sim'Ouest, Sim'44 et Eval-PDU</i>	36
<i>VIII. Comparaison des flux intrazonaux de Sim'Ouest aux flux de Sim'44</i>	37
<i>IX. Schématisation de l'emboîtement de modèles</i>	41
<i>Relation entre OD macrozonales et OD microzonales agrégées</i>	

Annexes (page 46)

- Annexe 1 Problématique des trajets terminaux
- Annexe 2 EMD DE RENNES : ANALYSE DES TRAJETS INTRAZONAUX
- Graphiques*
- Distribution des DVO en intra-Iris et Intracommune
 - Distribution des parts modales en intra-Iris et Intracommune
- Cartes*
- Par commune, nombre de trajets VPC intracommunaux
 - Part des trajets VPC intracommunaux dans l'ensemble des trajets VPC émis par la commune
 - Par Iris, nombre de trajets VPC intra-Iris
 - Part des trajets VPC intra-Iris dans l'ensemble des trajets VPC émis par l'Iris
- Annexe 3 SECTEUR DE LA BAULE : carroyage INSEE et représentations du bâti
- Annexe 4 AUTRES EXEMPLES DE CARROYAGE INSEE
- Nantes Métropole
 - Commune comportant un Iris central et un Iris périphérique
 - Commune couverte en majorité par une forêt
 - Commune comportant un espace lacustre
- Annexe 5 MODELE SIM'OUEST – Zonage cantonal en Bretagne et Pays de la Loire
- Annexe 6 MODELE SIM'44 – Zonage à l'Iris et à la commune en Loire-Atlantique
Zoom sur Nantes Métropole
- Annexe 7 ESTIMATION DE LA DISTANCE MOYENNE PARCOURUE EN INTRAZONE (modèle Eval-PDU)
- Annexe 8 ESTIMATION DES DISTANCES MOYENNES EN INTRAZONE (modèles Sim'Ouest et Sim'44)
- Annexe 9 ETAPE DE DISTRIBUTION – Mise en évidence des écarts de reconstitution des marges selon la méthode de redressement
- Annexe 10 POSTER PRESENTE AU SEMINAIRE FINAL SERRES
- Annexe 11 BIBLIOGRAPHIE

Introduction – organisation et objectifs du projet

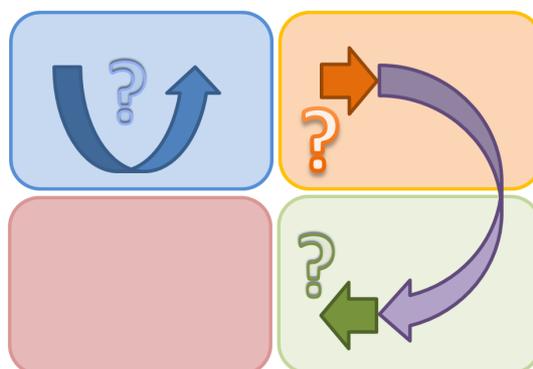
Ce projet de recherche est lié au domaine de la modélisation statique des déplacements et des trafics, modèles dits « à 4 étapes » (génération, distribution, choix modal, affectation).

Ces outils sont notamment utilisés pour alimenter en données de trafic des modèles de consommation de carburant, d'émission de polluants et de GES. Toutefois, ils ne sont pas aptes à quantifier la totalité des déplacements de véhicules, en termes de nombre de trajets produits, de distance parcourue et de vitesse pratiquée.

En effet, les modèles doivent être construits sur un territoire bien délimité, au sein duquel on définit un découpage en zones ; il s'agit alors d'estimer les flux de zone à zone ; ces flux sont affectés sur un réseau dit « structurant » qui permet d'assurer l'écoulement des flux interzonaux. Les zones sont reliées au réseau par l'intermédiaire de connecteurs, arcs fictifs représentant les trajets terminaux (à l'origine et à la destination) effectués en dehors du réseau structurant.

Deux types de trajets, censés circuler sur le réseau non modélisé, sont absents des résultats de ces modèles :

- les trajets entièrement intrazonaux
- les parties terminales des trajets interzonaux.



Selon le type et la taille des zones, la part des trajets intrazonaux dans le trafic routier total varie de façon importante. Par exemple, au niveau d'un canton, la part du trafic routier interne peut représenter de 50 à 65 % de l'ensemble des trafics produits. En revanche, le trafic automobile interne à un Iris (Ilots regroupés pour l'Information Statistique) ne représente en moyenne qu'environ 7 % du trafic total qu'il produit. Toutefois, si l'on raisonne tous modes de transport confondus, cette part est nettement plus importante du fait des trajets effectués à pied ou à vélo (de l'ordre de 12 % en moyenne des flux tous modes produits).

Les résultats de cette recherche devront donc permettre de quantifier les déplacements motorisés intrazonaux non directement évalués dans les modèles déplacements/ trafic, et d'en déduire des estimations de leurs principaux effets environnementaux (consommation énergétique, émission de polluants et GES).

L'objectif de ce projet de recherche est d'analyser les facteurs permettant d'estimer, dans un modèle donné, les caractéristiques des déplacements intrazonaux effectués par le mode routier : volumes produits, distances parcourues, vitesses pratiquées.

Cette recherche repose sur deux axes principaux bien distincts :

- la quantification des **distances** moyennes parcourues lors de trajets strictement intrazonaux
- l'estimation du **volume** de ces trajets.

Compte tenu des projets d'application de notre recherche dans les évaluations environnementales, nous nous limiterons à l'examen des trajets réalisés par des véhicules particuliers (y compris deux-roues motorisés de plus de 50 cm³). Des précisions à ce sujet sont apportées dans le chapitre I.4.

Un autre point sera abordé au chapitre VI pour compléter les données nécessaires à la mise en œuvre de ces évaluations : les **vitesses** moyennes pratiquées par les véhicules en intrazone, mais peu de données fiables sont disponibles dans ce domaine.

Remarque : les méthodes d'estimation établies dans ce cadre pourront également contribuer à améliorer les procédures de reconstitution des déplacements utilisées dans les modèles déplacements/trafic. En effet, l'étape de génération, s'appuyant directement sur une enquête déplacements, permet généralement d'obtenir des quantifications fiables et robustes. Par contre, l'étape suivante, qui consiste à distribuer géographiquement les déplacements dans les différentes zones du périmètre modélisé, est beaucoup plus délicate à mettre en œuvre : dans le cas des méthodes gravitaires, elle repose essentiellement sur la notion d'impédance interzonale, représentée par exemple par les temps de trajet généralisés observés ou estimés en voiture. Ces temps sont reconstitués de façon relativement satisfaisante par les modèles de réseau, intégrant en particulier temps de parcours et coût de transport. Mais cette procédure fournit exclusivement les temps interzonaux. Les temps généralisés intrazonaux doivent donc être estimés par une autre méthode, mais on ne dispose en général d'aucun jeu de données

réellement utilisables pour une telle estimation. Or, il est aisé de comprendre que cet élément est déterminant dans la qualité et la pertinence d'un modèle : pour chaque zone, le volume total des déplacements produits par une zone étant fixé par l'étape de génération, le volume attribué aux trajets interzonaux, les seuls à être affectés sur le réseau, est directement dépendant du volume estimé pour les trajets intrazonaux.

1. Principales étapes de la recherche

Nous examinerons les recours possibles à diverses **enquêtes déplacements** : Enquête Nationale Transports Déplacements 2008, Enquêtes Ménages Déplacements de Rennes 2008 et Enquête Déplacements Grand Territoire d'Angers 2012. Ces enquêtes comportent notamment la mention de la distance parcourue pour chaque déplacement recensé, mais ce n'est pas nécessairement cette donnée qu'il est pertinent d'utiliser dans notre cadre.

Nous nous intéresserons particulièrement à l'EMD de Rennes 2008 qui présente l'avantage d'une localisation précise des points d'origine et de destination des déplacements.

L'analyse de cette enquête aura pour objectif d'établir un mode d'estimation des distances parcourues dans les trajets intrazonaux à l'échelle de l'**Iris** ou de la **commune**. Ce travail portera notamment sur la recherche de liens entre ces distances et les données topographiques et démographiques des Iris et des communes concernés. La base de données démographiques carroyées de l'INSEE, couvrant l'intégralité du territoire national sera utilisée à cet effet.

Les estimations porteront dans un premier temps sur les distances à vol d'oiseau (DVO). Nous établirons ensuite un lien entre DVO et distances réelles parcourues sur le réseau routier. Enfin, nous procéderons à la recherche d'une formule permettant d'estimer le volume de trajets de véhicules intégralement effectués en intracommune ou en intra-Iris.

Dans cette optique, il nous paraît souhaitable d'établir des méthodes dont la mise en œuvre reste relativement simple, ne nécessitant que des données déjà disponibles au niveau de l'Iris et de la commune. Par exemple, typologie territoriale, population totale (Iris et commune), emplois totaux (commune), superficie et périmètre de la zone concernée, répartition et poids démographique des secteurs bâtis (commune)...

*En revanche, à l'échelle géographique du **canton**, les enjeux sont d'une autre ampleur : en effet, les volumes de déplacements concernés sont élevés ; l'incidence de la répartition spatiale et pondérale des différentes communes composant le canton est déterminante quant à l'évaluation des distances moyennes parcourues ; les cas d'offre modale sont variés, la localisation des pôles d'emploi joue également un rôle important. Une méthode légère ne semble donc pas devoir être appliquée au cas des cantons. Il serait sans doute opportun de prévoir à ce sujet une opération de recherche propre, fondée sur une approche plus élaborée, par exemple sur une micro-méthode de modélisation à trois étapes (génération, distribution, choix modal).*

Par ailleurs, nous disposons, à la Direction Territoriale Ouest du Cerema, de **deux modèles de trafic** emboîtés, élaborés sur des principes très voisins :

- **Sim'Ouest**, concernant le territoire des deux régions Bretagne et Pays de la Loire, adoptant un zonage cantonal ; ce modèle fonctionne en jour ouvrable hors vacances et reconstitue des flux VL et PL
- **Sim'44**, couvrant le département de Loire-Atlantique, présentant un zonage à l'Iris sur Nantes Métropole et communal sur le reste du département ; ce modèle travaille sur 4 périodes journalières (périodes de pointe du matin et du soir, périodes creuses de jour et de nuit). Il est multimodal et simule également la circulation des PL.

Au niveau de la Loire-Atlantique, les zones de Sim'Ouest sont des agrégations de zones de Sim'44. Cette propriété permet de confronter, sur un même territoire, les estimations des déplacements internes réalisées à deux échelles différentes. Les résultats des modèles sont donc analysés dans cette optique.

Le modèle Sim'44 pourra également être utilisé pour évaluer les rapports entre distances à vol d'oiseau et distances réelles parcourues sur le réseau routier.

Les cartes relatives au zonage de ces modèles figurent en annexes 5 et 6.

Remarque : la méthode d'estimation des flux intrazonaux destinés à alimenter les évaluations environnementales dépend évidemment des informations pouvant être fournies par le modèle de déplacements et de trafic :

- si la génération et la distribution sont effectuées directement sur le mode routier (VP conducteur), le modèle intègre des impédances intrazonales routières liées aux distances moyennes parcourues, qui ont donc été déjà estimées. Il fournit également, à l'issue de la distribution, les volumes intrazonaux VP ; les principales données nécessaires à un modèle d'émission par exemple sont donc alors disponibles
- s'il s'agit d'un modèle multimodal dont la distribution est effectuée sur la base de temps de trajet ou de temps généralisés routiers (cas des modèles Sim'Ouest et Sim'44), la distance routière moyenne parcourue en intrazone sera également disponible mais pas les volumes associés ; il sera nécessaire de formuler des hypothèses de répartition modale, probablement assez approximatives à ces échelles
- enfin, si le modèle repose sur une distribution intégrant une impédance multimodale composite, aucune information relative au seul mode routier n'est directement accessible.

Il en est de même dans un modèle où il apparaît que l'estimation des impédances intrazonales n'a pas été menée avec un niveau de fiabilité acceptable.

A l'inverse, une méthode d'estimation des flux intrazonaux pourrait contribuer à un meilleur calage des impédances intrazonales et donc à une amélioration globale de l'étape de distribution.

2. Cas des trajets terminaux

Nous avons souhaité limiter notre analyse aux trajets intrazonaux de véhicules particuliers, destinés au transport de personnes.

En effet, la problématique des trajets terminaux est plus délicate à traiter de façon générique, car elle dépend étroitement de la conception du modèle, notamment de la densité du réseau modélisé en intrazone et de la méthode de définition des connecteurs (nombre, répartition...).

Cf. annexe 1.

I. Utilisation des enquêtes déplacements

Nous avons choisi d'examiner les fichiers détaillés de trois enquêtes déplacements parmi les plus récentes.

I.1. Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008

L'ENTD pourrait être utilisée pour appréhender la typologie des distances parcourues en intracommune ou en intracanton en fonction du segment de population et du motif du déplacement. Cependant, du fait que seuls les cantons d'au moins 20000 habitants sont identifiés dans l'enquête, ces éléments ne peuvent pas toujours être reliés aux données particulières des zones concernées (population, taille, morphologie urbaine).

L'ENTD comprend des déplacements de semaine et de week-end, hors vacances scolaires ou non. Sur l'ensemble du territoire métropolitain hors Ile-de-France, près de 42000 déplacements ont été enquêtés.

I.2. Enquête Ménages Déplacements de Rennes 2008

Cette enquête est exploitée sur l'ensemble de l'aire urbaine de Rennes (contours 1999), disposant d'un découpage géographique fin complété par un maillage carré de 100 m ou 300 m de côté. Les générateurs ponctuels sont localisés indépendamment du centroïde de la maille à laquelle ils appartiennent. Ce dispositif permet de localiser assez précisément les points d'origine et de destination des trajets. Au total, près de 38 300 déplacements (tous modes) ont été enquêtés.

Contrairement à l'ENTD, les EMD et EDGT, géographiquement plus fines, ne portent que sur les déplacements de semaine (lundi-vendredi) hors scolaires vacances.

I.3. Enquête Déplacements d'Angers 2012

Il s'agit d'une Enquête Déplacements Grand Territoire (EDGT), réalisée sur 68 communes, en face à face sur Angers Loire Métropole et par téléphone dans le reste du périmètre concerné.

Les principes sont analogues à ceux de l'EMD de Rennes mais les points d'origine et de destination des déplacements sont localisés au barycentre des zones fines concernées, sans autre précision. Seuls les générateurs ponctuels bénéficient d'une géolocalisation propre.

Les tableaux ci-dessous sont donnés à titre d'évaluation des enjeux.

EMD Rennes

Zone	Enquêtés	Redressés	Part (redr.)
1. Intra-Iris PE	4 401	281 714	11.9%
2. Intra-Commune PE	17 322	1 105 033	46.8%
3. Intra-Canton PE	2 870	168 667	7.1%
4. Intra-Département	12 829	750 173	31.8%
5. Autres	851	53 661	2.3%
Tous	38 273	2 359 248	100.0%

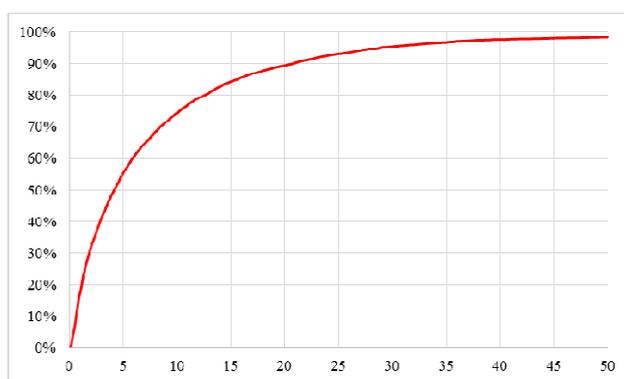
ED Angers

Zone	Enquêtés	Redressés	Part (redr.)
1. Intra-Iris PE	2 137	146 067	12.7%
2. Intra-Commune PE	8 311	546 617	47.5%
3. Intra-Canton PE	798	37 880	3.3%
4. Intra-Département	5 753	342 679	29.8%
5. Autres	1 400	77 800	6.8%
Tous	18 399	1 151 043	100.0%

PE = périmètre d'enquête

On observe que les parts moyennes des trajets intra-Iris d'une part et des trajets intracommunaux d'autre part sont très voisines dans les deux enquêtes (respectivement de l'ordre de 12 et de 47 %).

Ce graphique, établi à partir de l'EMD de Rennes, fournit la part cumulée des distances à vol d'oiseau parcourues en mode VP conducteur, tous motifs confondus (de 0 à 50 km).



Environ 55 % des trajets font moins de 5 km. Seuls 11 % des trajets font plus de 20 km. Quant à ceux de plus de 50 km, ils représentent moins de 2 % du trafic total.

I.4. Choix des données et observations les plus pertinentes

Les modèles déplacements/trafic ne sont très majoritairement élaborés que pour le jour ouvrable de semaine. Par souci de cohérence, nous ne retenons dans la caractérisation des déplacements intrazonaux que les trajets effectués en **jour ouvrable hors vacances**.

Choix des modes de transport à traiter

Dans les enquêtes, pour chaque déplacement plurimodal, est défini un « mode principal » selon des règles précises : en général, en cas de trajet associant la voiture à un transport collectif, c'est ce dernier qui est considéré comme mode principal. Par contre, pour un couple marche-voiture, la voiture est bien entendu le mode principal retenu.

A titre indicatif, la voiture particulière utilisée comme mode secondaire ne représente que 0,05 % des trajets intracommunaux.

Dans chaque enquête, nous ne prenons en considération que le mode principal du déplacement. Les données de localisation et de durée sont disponibles dans les enquêtes pour la totalité du déplacement tous modes cumulés. Dans le cas qui nous concerne d'un déplacement en voiture, on connaît également les temps de marche au départ et à l'arrivée (access/egress time en anglais). En moyenne, le cumul de ces deux temps de trajet à pied est de l'ordre de 45 secondes, ce qui correspond à une distance d'environ 50 mètres. Par souci de simplification, compte tenu des gammes de distance parcourues en voiture, et du fait que l'on ne peut pas localiser les points précis de départ et d'arrivée du trajet motorisé, c'est la durée totale du déplacement qui sera retenue dans nos analyses.

Le tableau ci-après est établi à partir de l'EMD de Rennes. Il indique, sur des données redressées, la part des différents modes utilisés dans des trajets **intracommunaux** uniquement :

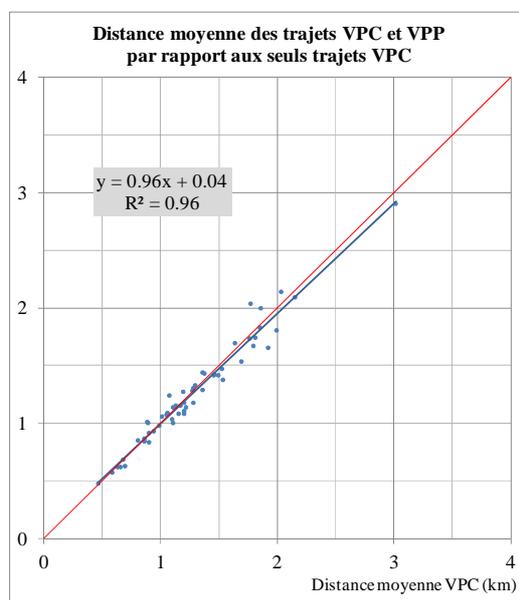
Mode principal	Part (%)
Marche	37.3
Vélo	5.3
Deux-roues motorisés < 50 cm ³ (cyclos)	0.21
Deux-roues motorisés > 50 cm ³ (motos)	0.24
Véhicule particulier conducteur	33.92
Véhicule particulier passager	12.9
Véhicule utilitaire léger et poids lourd	0.39
Taxi (passager)	0.04
Transports en commun urbains	9.0
Autocar	0.0
Train	0.0
Autres	0.7
Sous-total	34.8
Total	100.0

Dans une perspective d’alimentation des modèles environnementaux en données de trajets de véhicules, la recherche pourrait s’appliquer à l’ensemble des modes motorisés individuels :

- deux-roues motorisés de plus ou moins de 50 cm³ (2RM)
- véhicule particulier conducteur (VPC) ou passager (VPP)
- véhicule utilitaire léger (VUL)
- poids lourd (PL)
- taxi (en tant que passager).

Dans les enquêtes disponibles, la taille des échantillons relatifs aux modes motorisés minoritaires (2RM, VUL, PL et taxi) est très faible : nous limitons donc notre recherche aux deux principaux modes motorisés individuels, le véhicule particulier conducteur (VPC) ou passager (VPP). Plus précisément, les trajets VPP enquêtés peuvent contribuer à accroître très sensiblement la taille des seuls échantillons VPC. Les données du mode VPP peuvent être utilisées en complément de celles des VPC dans l’étape d’estimation des distances moyennes parcourues, sans y provoquer de biais notable. Les distances moyennes VPC seuls et VPC+VPP sont en effet très étroitement corrélées, les secondes étant en moyenne inférieures aux premières d’environ 4 % (Cf. graphique ci-dessous). Cette option est aussi justifiée par le fait que, pour l’enquête téléphonique, un seul membre du ménage est interrogé : dans ce cas, le risque de double compte est nul mais la distance intrazonale moyenne obtenue tient bien compte aussi des trajets VPP réalisés.

En revanche, dans l’étape d’estimation des volumes de flux de véhicules, il ne faut évidemment travailler que sur les trajets VPC pour éviter tout double compte.



Le tableau précédent permet de calculer la part moyenne de l’ensemble des modes minoritaires dans les trafics intracommunaux : elle est d’environ 2,5 % . Selon la configuration des communes, cette part est bien entendu très variable, notamment du fait des trafics VUL et PL qui représentent en moyenne près de la moitié des volumes concernés. Le

choix du niveau de découpage peut également intervenir : la part des trajets intrazonaux des PL ne suit pas nécessairement les mêmes lois que celles des déplacements de personnes.

Les modes minoritaires sont donc à traiter de façon particulière à chaque zone, par exemple par le biais d'un coefficient de passage associé au volume VPC estimé.

Par ailleurs, l'estimation des km parcourus par les TC routiers peut être directement réalisée à partir de l'analyse de l'offre (lignes et nombre de services), indépendamment de leur fréquentation. Il n'est pas utile de traiter cet aspect dans le cadre de cette recherche : nous avons donc exclu de notre analyse les trajets de bus et d'autocars.

Reconstitution de la distance parcourue pour les déplacements enquêtés

• ENTD 2007-2008

Dans cette enquête nationale, nous n'avons pas accès à toutes les données d'identification des zones d'origine et de destination des déplacements. La distance parcourue a néanmoins été renseignée par les administrateurs et est donc disponible dans les fichiers, sans qu'il nous soit possible de la contrôler ou de la reconstituer :

→ pour un trajet en tant que conducteur de véhicule motorisé d'une durée supérieure à 20 mn, on retient la distance déclarée par l'enquêté, lorsqu'elle existe

→ dans les autres cas, la distance est imputée selon les règles suivantes :

- * pour les déplacements intracommunales ou entre communes limitrophes, la distance est estimée par une méthode de régression utilisant la durée et les données de l'ETC 1994

- * pour les déplacements entre deux communes non limitrophes, on utilise une valeur issue du distancier Odomatrix (distance entre chefs-lieux de communes).

Cf. Document « Définitions et concepts de l'ENTD 2008 et de l'ETC 1994 – Mars 2010 »

Indépendamment de la notion de distance, une méthode de reconstitution des volumes intrazonaux ne peut reposer que sur une connaissance minimale des caractéristiques topographiques et démographiques de la zone, et donc sur l'accès à son identification. Cependant, les communes n'étant en général pas identifiables dans les fichiers ENTD dont nous disposons, il est impossible d'y recourir pour l'évaluation de ces volumes : *nous ne retiendrons donc pas l'ENTD dans la poursuite de nos recherches.*

• Enquêtes déplacements de Rennes et d'Angers

La reconstitution de la distance parcourue établie dans différentes enquêtes ne repose pas nécessairement sur les mêmes éléments. Par ailleurs, en général, l'itinéraire du déplacement n'est pas renseigné (hormis la connaissance d'un point de passage dans une faible part des déplacements de l'enquête de Rennes).

Nous avons souhaité appliquer la méthode de reconstitution de la distance parcourue la plus fine et la plus cohérente possible.

Pour l'enquête d'Angers, les lieux d'origine et de destination des déplacements sont bien identifiés mais la finesse de leur localisation n'est pas suffisante : seuls les générateurs ponctuels sont géolocalisés de façon précise, par leurs coordonnées (x,y). Les déplacements liés aux zones fines en origine et/ou en destination ne peuvent faire l'objet d'une estimation spécifique des distances à vol d'oiseau car les points d'origine et de destination des trajets sont tous rapportés au barycentre démographique des zones concernées. Ce point a été géoréférencé avec soin par la DTerNP du Cerema mais ne saurait rendre compte de la diversité des points de départ et d'arrivée liés à l'ensemble de la zone concernée.

Seules les distances à vol d'oiseau entre deux générateurs ponctuels sont donc accessibles ici avec précision : *l'enquête d'Angers ne nous sera donc pas utile le cadre de cette démarche.*

Nous avons vu que, pour l'enquête rennaise, les points d'origine et de destination sont géoréférencés avec précision : on dispose de la localisation en (x,y) du centre de chaque maille ainsi que des coordonnées des générateurs ponctuels.

A partir de ces éléments, la formule adoptée pour le calcul de la longueur du trajet s'appuie sur la **distance à vol d'oiseau** (DVO) calculée sur les coordonnées des points d'origine et de destination.

En définitive, seule l'EMD de Rennes présente l'ensemble des caractéristiques nécessaires à la réalisation de notre recherche.

Autres options choisies pour l'exploitation de l'enquête ménages déplacements de Rennes

Les déplacements retenus pour notre analyse sont évidemment ceux des résidents du périmètre d'enquête. En revanche, le lieu de résidence n'est pas spécifiquement pris en compte, dans la mesure où l'on s'intéresse bien entendu aussi aux trajets effectués en intrazone par les résidents d'un autre secteur. Cependant, parmi les trajets intrazonaux étudiés à différentes échelles, on exclut de l'analyse les trajets effectués en dehors du périmètre d'enquête, puisqu'ils sont loin d'être connus de façon exhaustive. En revanche, en interne à l'aire d'enquête, on se rapproche de l'exhaustivité.

A noter à ce sujet que l'ENTD est moins précise que les EMD et EDGT en termes de localisation des trajets mais elle présente l'avantage de comporter un échantillon national. Le problème de l'exhaustivité des trajets recensés en intrazone ne se poserait donc pas dans le cas de l'utilisation de cette enquête.

Les déplacements identifiés comme « promenade » ou « tournée » (respectivement motifs 52 et 81 des EMD) présentent en pratique le même lieu d'origine et de destination. Néanmoins, les enquêtes déplacements les expriment en général sous forme de deux déplacements, aller et retour, en fixant comme point intermédiaire le point de l'itinéraire suivi le plus éloigné du lieu de départ/arrivée. Nous conserverons donc les déplacements effectués pour ces deux motifs avec les distances estimées dans les fichiers d'enquête.

En revanche, les déplacements présentant une distance nulle ou non renseignée sont exclus des analyses (près de 3 % de l'échantillon sélectionné).

De même, les trajets présentant des valeurs incohérentes sur les variables retenues ne sont pas pris en considération. Ils ne représentent que moins de 1 % de l'échantillon concerné.

I.5. Examen préliminaire des trajets intrazonaux dans l'EMD de Rennes 2008

Comme nous l'avons vu, l'EMD de Rennes 2008 comporte une localisation des points d'origine et de destination des déplacements dans des mailles carrées de 100 mètres de côté (300 mètres dans les zones peu denses).

Ce type de données permet de calculer aisément la distance à vol d'oiseau (DVO) correspondant à chaque déplacement enquêté. On sait également si le déplacement est effectué en intracommune et, si la commune est irisée, en intra-Iris.

Dans l'échantillon de l'enquête, nous n'avons donc retenu que les déplacements entièrement effectués en intracommune ou en intra-Iris.

Nous avons constitué deux bases de données de déplacements, classés par mode (marche, vélo, VPC, VPP, TC) :

- d'une part, les déplacements intracommunaux, y compris intra-Iris
- d'autre part, les déplacements effectués exclusivement en intra-Iris.

Pour chacun d'entre eux, connaissant les coordonnées du centre des mailles de départ et d'arrivée, on établit la DVO correspondante.

On examine dans un premier temps la distribution des distances en fonction des modes retenus (le mode TC n'est pas retenu en intra-Iris). Pour le mode VPC en particulier, la gamme des DVO s'étend jusqu'à 8 km pour les intracommunaux mais est limitée à 4 km pour les intra-Iris. Les distributions cumulées des DVO VPC sont les suivantes :

	En Intra-Iris	En Intracommune
Moins de 1 km	74%	39%
Moins de 2 km	95%	70%
Moins de 3 km	99%	86%
Moins de 4 km	100%	94%
Moins de 5 km		97%
Moins de 6 km		99%
Moins de 8 km		100%

	En Intra-Iris	En Intracommune
Moyenne	800 m	1620 m
Médiane	670 m	1260 m

Moyenne et médiane sont donc deux fois plus élevées pour les déplacements intracommunaux que pour les seuls déplacements intra-Iris. Voir les graphiques et cartes en annexe 2.

II. Recherche de données zonales permettant d'établir une base de quantification des distances intrazonales

II.1. Observations préliminaires relatives à l'estimation des longueurs des trajets intrazonaux routiers

La *distance moyenne* parcourue en voiture dans un trajet intra-Iris ou intracommunal dépend évidemment des opportunités offertes par la voirie existante en matière d'itinéraire. Si l'on souhaite *quantifier cette distance moyenne*, il faut également considérer la répartition de la population résidente, des emplois et des activités dans cette zone, qui conditionne la distribution spatiale de la demande. Enfin, s'il s'agit d'*estimer la totalité des véhicules.kilomètres* parcourus en intrazone sur une période donnée, il faut combiner ces distances aux mobilités intrazonales *conducteur* des résidents et des non résidents qui s'y trouvent également.

Au niveau des Iris, l'homogénéité des secteurs bâtis, qu'ils recouvrent ou non la totalité du territoire concerné, pourrait autoriser des estimations numériques simples essentiellement proportionnelles à la taille et au poids démographique de ces Iris.

Au niveau des communes, l'existence de polarités différenciées (centre, habitat, activités) rend ce type d'approche plus approximatif, mais permet d'effectuer des calculs ne faisant pas appel à un recueil de données trop conséquent.

Ainsi que nous l'avons annoncé, nous n'appliquerons pas cette démarche au niveau du canton. A cette échelle de territoire, les enjeux, en termes de volumes de VL et de VL.km, nécessitent à notre avis une approche spécifique de type micro-modèle à trois ou quatre étapes prenant en compte de nombreux facteurs : localisation des communes du canton, de la population et des activités, prise en compte de boucles de trajets VL liées aux activités des résidents, distribution et affectation sur le réseau principal reliant les communes. La procédure pourrait cependant se limiter aux trajets intercommunaux réalisés à l'intérieur du canton, les trajets intracommunaux étant par ailleurs estimés au moyen de la méthode que nous nous proposons d'élaborer pour les communes et éventuellement pour les Iris.

Dans une première étape, nous nous attachons ici à établir une méthode de quantification de la distance à vol d'oiseau moyenne (DVO) parcourue en voiture en intra-Iris ou en intracommune. Cette DVO sera ensuite convertie en distance réelle moyenne parcourue sur le réseau (DIST), évidemment au moins égale à la DVO, grâce aux fonctions reliant DIST et DVO établies dans le chapitre suivant (IV).

Du point de vue de l'urbanisation, la configuration de ces espaces (Iris ou commune) est bien entendu extrêmement diversifiée : par exemple, pour une commune non urbaine, concentration de la population et des activités au centre bourg, ou existence de polarités secondaires sur le territoire de la commune, comportant population ou activités, plus ou moins autonomes par rapport au centre-bourg.

II.2. Recherche d'une base de données géographiques adaptée

Pour appréhender ces types de configuration, nous avons examiné et comparé quatre sources de données géographiques susceptibles de permettre une localisation fine des **populations** communales, principaux facteurs de génération des déplacements. Cette comparaison a été effectuée sur le territoire du département de Loire-Atlantique, dont nous connaissons bien la configuration.

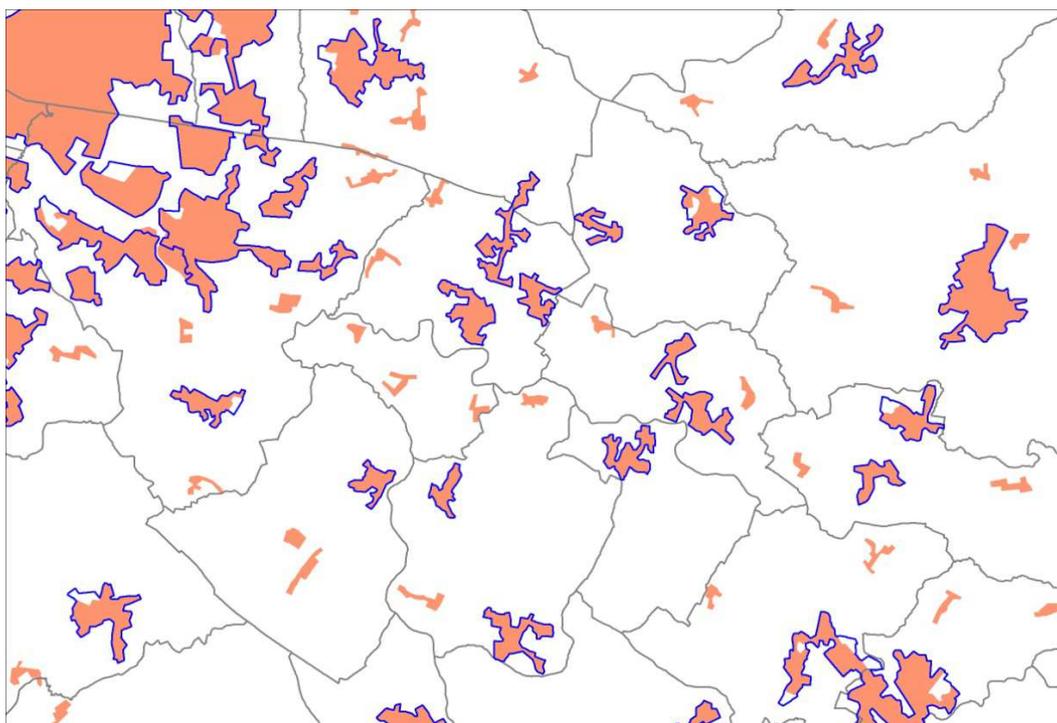
- la BdCarto® de l'IGN, et en particulier la donnée Nature « Bâti », issue de la Classe « Zones_Occupation_Sol » (Rubrique « Habillage ») ; il s'agit de secteurs continus à prédominance « Habitat » (donc, notamment, hors zones d'activités)
- la BdTopo® de l'IGN, Couche « Bâti indifférencié », Classe « Bâti », excluant les installations industrielles ; chaque bâtiment non mitoyen y est représenté de façon distincte ; la base comporte une indication de hauteur du bâti
- la base Corine Land Cover (CLC), issue du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement CORINE (2006) ; elle fournit les contours des secteurs d'habitat continu ou discontinu indifférenciés (codes 111 et 112). Le code 111, attribué au bâti continu, ne concerne que les hypercentres de Nantes et Saint-Nazaire ; il existe aussi des contours de secteurs d'activité commerciale ou industrielle (code 121) ; certains de ces contours se situent à cheval sur deux communes (ou deux Iris) ou davantage
- la base carroyée de l'INSEE permettant de localiser et de quantifier la population dans des mailles carrées de 200 m de côté ; en Loire-Atlantique, on recense environ 45000 mailles, dont le nombre de résidents est renseigné (base utilisée : année 2010).

Les tracés correspondant à ces différentes bases de données sont indiqués en annexe 3, à titre d'exemple, pour le secteur de La Baule.

Les contours des Zones_Occupation_Sol et des secteurs 111, 112 et 12 de CLC sont très souvent identiques. Parfois cependant, leurs périmètres ne sont que partiellement communs. Les débordements s’observent dans un sens comme dans l’autre.

Ces deux types de secteurs correspondent une urbanisation relativement dense mais pas nécessairement homogène sur l’ensemble de leur surface. Les données BdCarto® et CLC ne permettent donc pas de distinguer et de localiser les zones très compactes d’un hypercentre et moins denses des autres quartiers.

**Comparaison entre Zones_Occupation_Sol (BdCarto®) et surfaces bâties (CLC)
Secteur sud-est de l’aire urbaine de Nantes**



Gris : Limites communales

Orange : Zones_Occupation_Sol

Bleu : Surfaces bâties CLC

Par ailleurs, dans une commune donnée, les *secteurs non couverts* par les contours Zones_Occupation_Sol ou CLC peuvent parfois représenter une grande partie du territoire de la commune. Ces secteurs, correspondant évidemment à du bâti discontinu, n’en présentent pas moins des lieux d’habitation plus ou moins denses sur lesquels les deux bases BdCarto® et CLC restent muettes.

La BdCarto® et la base CLC ne permettent donc pas d’analyses précises car elles ne renseignent ni sur la modulation des densités dans les secteurs bâtis continus ni sur la présence d’habitat ou d’activités dans le reste des territoires communaux. Or la recherche d’une distance moyenne parcourue doit intégrer la génération de l’habitat dispersé, produisant des flux d’un volume assez modéré mais effectués sur des distances relativement importantes. *In fine*, ces deux bases ne peuvent être utilisées pour pondérer des distances par des poids de population.

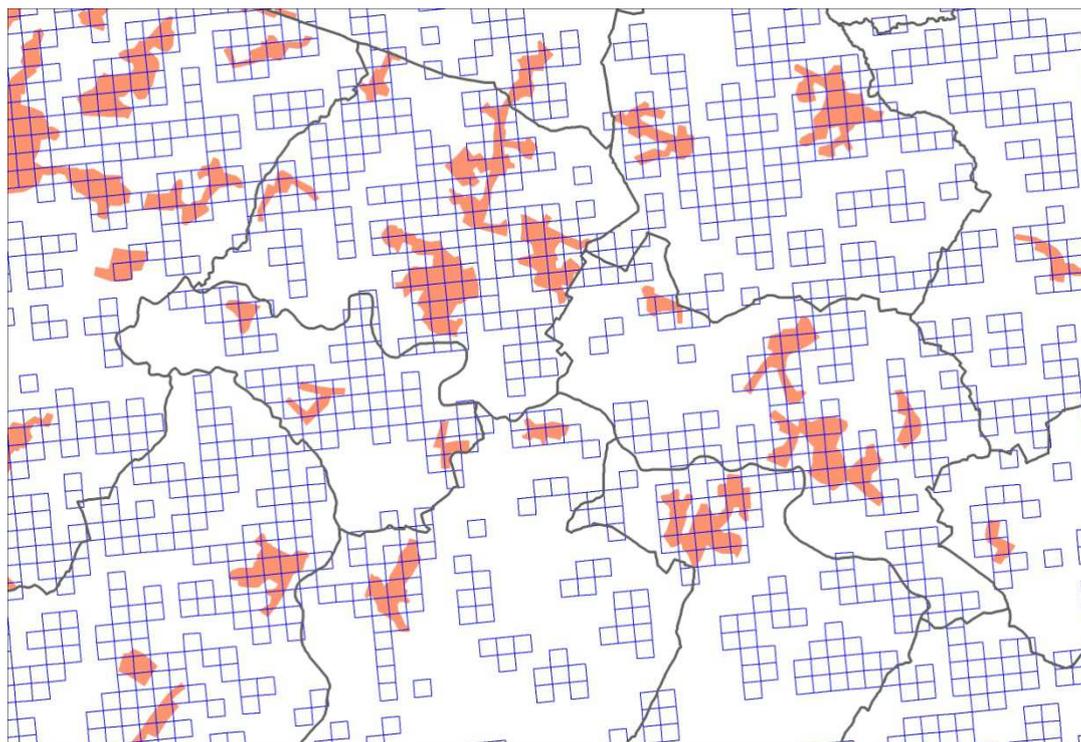
Enfin, en ce qui concerne la BdTopo®, l'indication de hauteur du bâti n'est pas facile à prendre en compte car elle est disponible, en revanche, à une échelle trop détaillée. De plus, elle n'inclut pas que des bâtiments à usage d'habitation et doit donc également être abandonnée pour les investigations envisagées.

Examen de la base carroyée de l'INSEE

La base carroyée de l'INSEE présente un niveau de détail plus intéressant quant à la localisation de la population selon sa densité : le carroyage existe bien entendu dans les zones de bâti continu ou discontinu et, notamment en dehors des grandes agglomérations, couvre souvent une part importante de la superficie de la commune.

Le schéma ci-dessous montre la superposition des mailles carroyées et des contours de Zones_Occupation_Sol. On observe clairement que les mailles recouvrent ces Zones et présentent une surface beaucoup plus importante.

**Superposition du carroyage 200 m * 200 m et de Zones_Occupation_Sol
Secteur sud-est de l'aire urbaine de Nantes**



On peut également réaliser une cartographie de ces mailles en leur affectant une couleur d'une intensité proportionnelle à leur nombre d'habitants (Cf. annexe 4).

III. Recherche d'une méthode d'estimation des distances à vol d'oiseau parcourues en intrazone

III.1. Mise en relation des caractéristiques intrinsèques des zones et des distances moyennes parcourues en intrazone

In fine, nous avons décidé d'utiliser la **base carroyée** de l'INSEE pour relier ces données communales à la distance à vol d'oiseau moyenne (DVO) parcourue en voiture en intracommune. Le choix du territoire à étudier s'est naturellement porté sur l'aire urbaine de Rennes pour laquelle, comme nous l'avons vu, l'EMD de 2008 permet de reconstituer assez finement des distances à vol d'oiseau grâce à la localisation des points de départ et de destination des trajets dans une maille carrée de 100 m de côté (ou 300 m en secteur peu dense). Néanmoins, les deux maillages, s'ils permettent des analyses à des échelles tout à fait comparables, ne se superposent pas. Cela ne constitue aucunement un handicap puisque ce sont uniquement les valeurs communales moyennes des DVO reconstituées qui doivent être mises en relation avec les caractéristiques zonales. La base EMD utilisée est constituée des 213 communes comportant le carroyage 100 m * 100 m propre à l'enquête.

Sur ces communes, nous avons construit un fichier comportant, pour **chaque maille carrée** INSEE : son identifiant, sa population totale (année 2010), les coordonnées géographiques (x,y) de son centre et l'identifiant de la commune ou de l'Iris dans laquelle se situe ce centre.

Remarque : les mailles se situant parfois à cheval sur plusieurs communes ou plusieurs Iris, on affecte une maille à la zone (commune ou Iris) à laquelle appartient son centre.

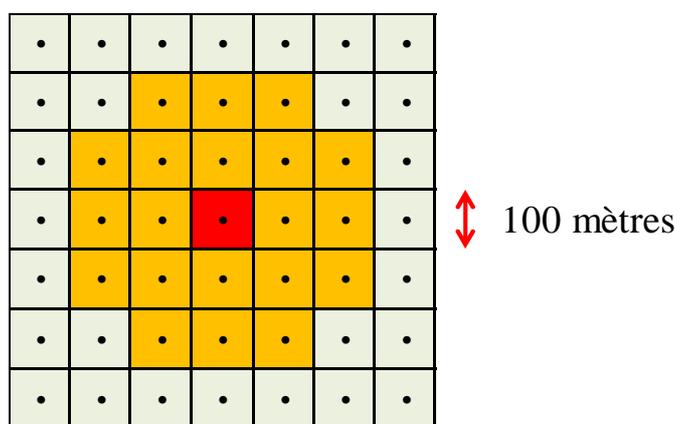
Par ailleurs, nous considérons, pour chacune de ces communes et chacun de leurs Iris, la surface et le périmètre du territoire concerné.

Dans une commune ou un Iris donné, compte tenu des données disponibles, la DVO intrazonale VPC moyenne reconstituée par l'enquête peut *a priori* être liée à :

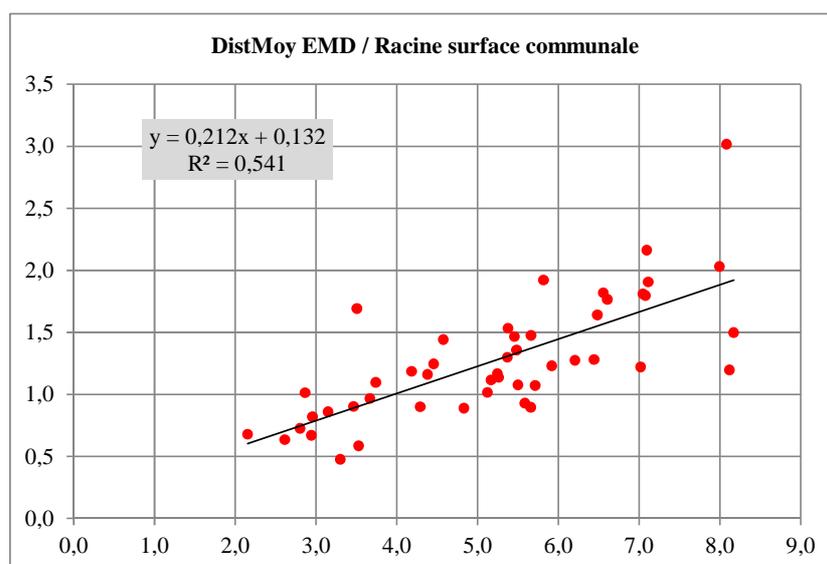
1. la racine carrée de la surface du territoire concerné
2. son périmètre
3. le quotient surface / périmètre
4. la distance moyenne inter-maillages (à vol d'oiseau), pondérée par leurs populations
5. la distance moyenne pondérée (à vol d'oiseau) séparant chaque maille du barycentre de la commune ; ce barycentre est calculé à partir des coordonnées (x,y) du centre de chaque maille pondérées par la population de la maille.

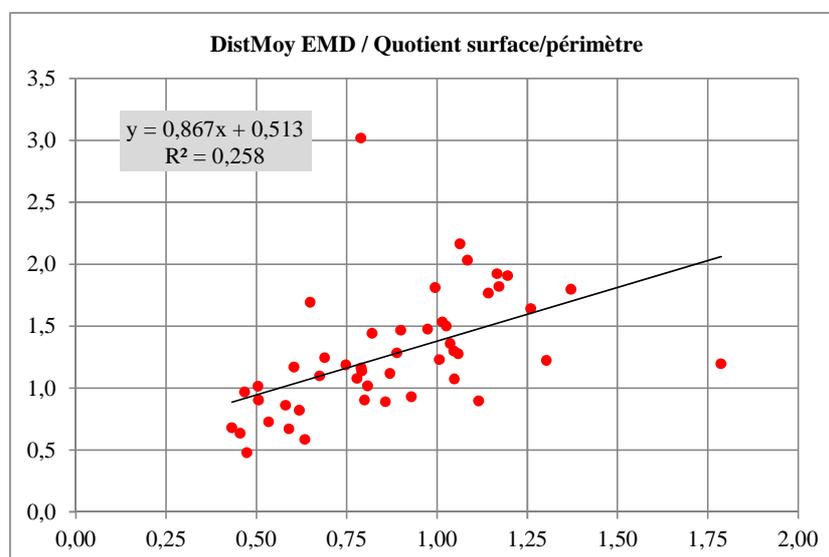
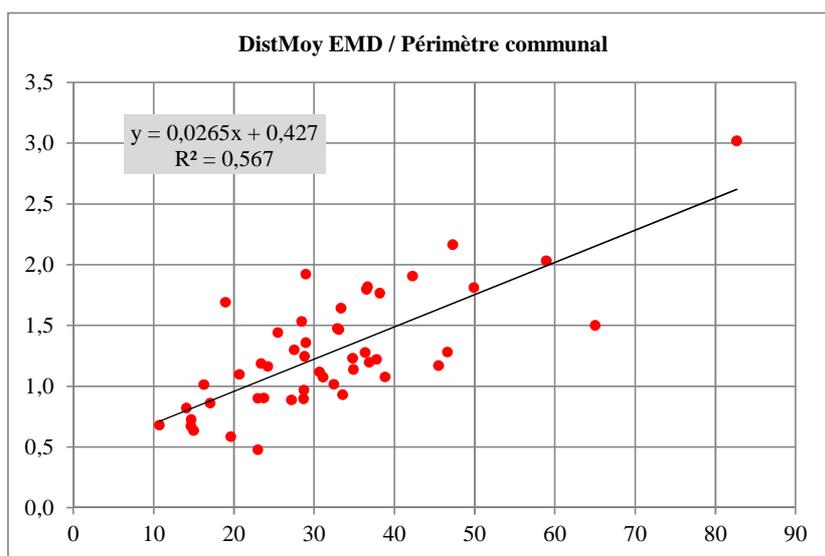
Pour calculer une DVO moyenne par commune à partir de l'enquête, nous avons établi la moyenne redressée des DVO intracommunales VPC reconstituées, en excluant les trajets de moins de 250 m de longueur, qui pourraient biaiser l'estimation, les modes actifs étant prépondérants dans cette gamme de distance. Ces trajets enquêtés ont certes existé, et une partie d'entre eux ont probablement été effectués en voiture, mais il demeure un doute, pour des distances aussi faibles, quant à l'exactitude des lieux d'origine ou de destination ou du mode déclarés ou saisis. Globalement, pour le seul mode VPC, ces trajets ne représentent dans l'EMD qu'environ 4 % de l'ensemble des trajets intracommunaux.

Dans ce schéma sont indiquées en orange les mailles 100 m * 100 m dont les distances à la maille rouge ne sont pas intégrées dans ces calculs.



Nous avons d'abord étudié la relation entre la distance intracommunale moyenne à vol d'oiseau issue de l'EMD, effectuée en VPC, et les trois premières variables. Les résultats sont indiqués sur les graphiques ci-après, exprimant cette distance moyenne DVO enquêtée en fonction de chacune de ces variables (distances en km) :





Ces trois premières variables ne conduisent donc en fait à aucune corrélation réellement pertinente. Du fait du degré de complexité de leurs contours, certaines communes se retrouvent hors tendance générale, notamment dans le troisième graphique.

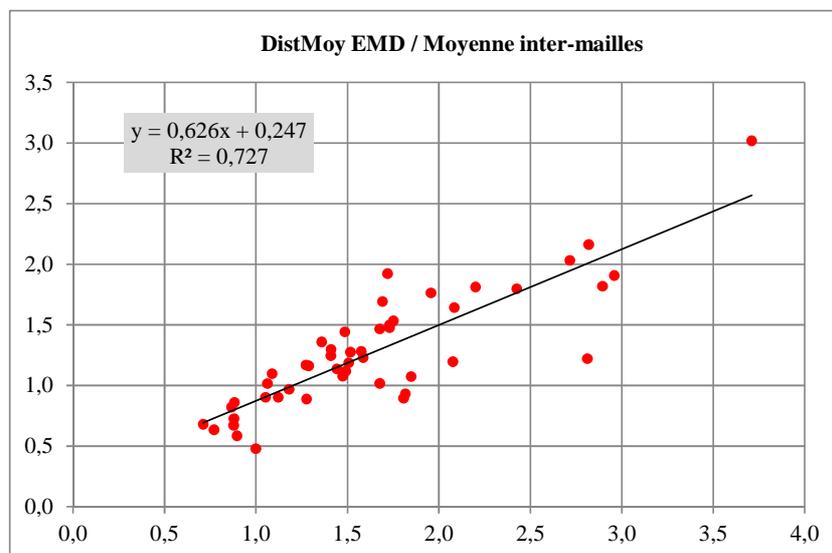
Dans la formulation du calcul des variables 4 et 5, pour assurer la cohérence avec les O-D enquêtées retenues, nous ne retenons que les couples de mailles dont les barycentres sont distants d'au moins 250 m.

Variable 4 : distance moyenne inter-maillages, pondérée par leurs populations

Pour calculer cette variable pour chaque commune ou Iris, la formule est la suivante :

$$\frac{\sum \{ \text{Pop}_i * \text{Pop}_j * \text{racine} [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2] \}}{\sum (\text{Pop}_i * \text{Pop}_j)}$$

Le graphique ci-dessous exprime la DVO issue de l'enquête en fonction de la distance inter-maillages pondérée moyenne (en km) :

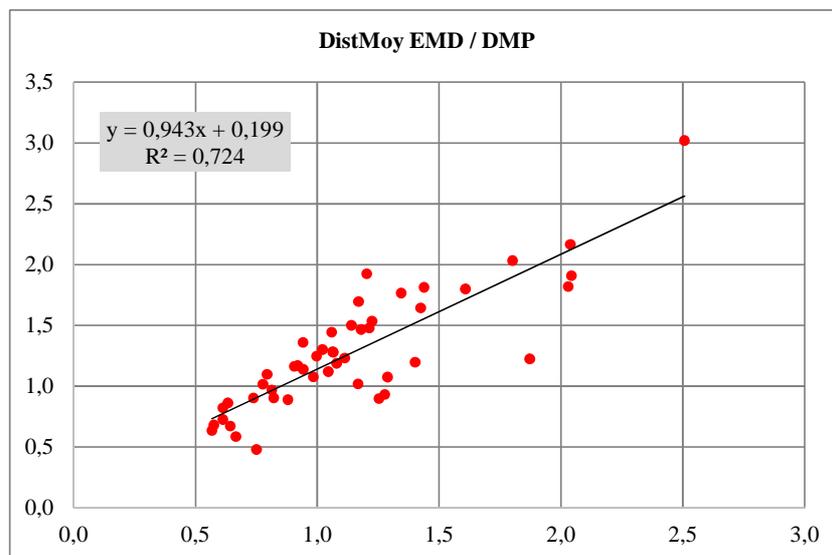


L'analyse portant sur l'incidence de cette variable, comme l'on pouvait l'espérer, donne de meilleurs résultats. Cependant, ils ne sont pas totalement pertinents du fait d'un biais apparaissant dans le calcul : *les mailles faiblement peuplées sont souvent très nombreuses par rapport au nombre total de mailles de la commune. De plus, elles se situent plutôt en périphérie du territoire communal, ce qui accentue leur effet dans la pondération. Il en résulte qu'une grande partie des trajets recensés ne correspond à aucun besoin particulier de déplacement : la demande est préférentiellement orientée vers le ou les pôles les plus dense(s) de la commune, susceptible(s) d'accueillir une forte proportion de population et d'activités.*

Variable 5 : distance moyenne pondérée (DMP) séparant chaque maille du barycentre de la commune

On reconstitue et on localise avec cette variable un point d'attraction central « virtuel » de la commune. Le recours à la distance moyenne pondérée séparant chaque maille du barycentre de la commune est propre à donner également de bons résultats, même si la position du barycentre ne correspond pas toujours à celle du pôle principal (s'il existe).

Les résultats obtenus sont indiqués sur le graphique suivant, qui représente la DVO intracommunale moyenne des déplacements VPC enquêtés en fonction de la DMP :



Base utilisée dans les cinq graphiques précédents : environ 6200 déplacements enquêtés (dont 2500 sur Rennes) sur 48 communes de l'aire urbaine de Rennes, en milieu urbain ou non, présentant un seuil de 10 déplacements par commune, d'au moins 250 m de longueur

On observe que la distance moyenne pondérée à vol d'oiseau des centres des mailles à leur barycentre est bien corrélée avec la DVO reconstituée à partir des mailles propres au découpage de l'enquête, déclarées en origine et en destination. Le R^2 est pratiquement le même que pour la distance inter-mailles mais la DMP présente l'avantage d'un ordre de grandeur très voisin de la DVO observée (pente proche de 1, ordonnée à l'origine assez faible).

La relation retenue *in fine* est donc la suivante :

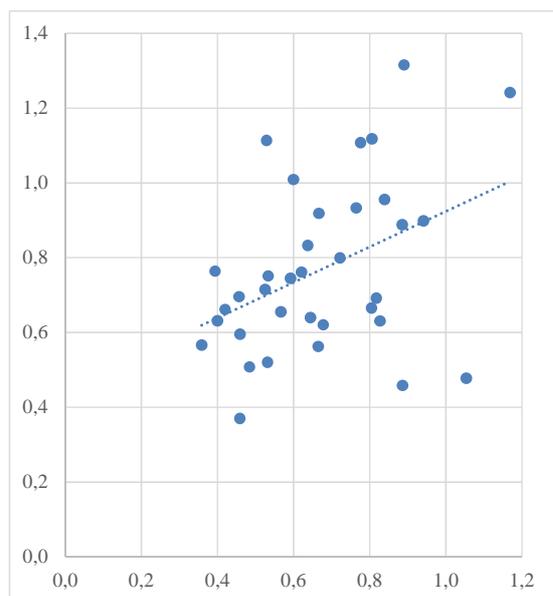
$$DMP = 0,943 * DVO + 0,200$$

En inversant la formule, la DVO théorique moyenne des trajets VPC intrazonaux peut donc être estimée en fonction de la DMP établie à partir du carroyage INSEE (associant localisation et population de chaque maille) :

$$DVO_{th} = (DMP - 0,200) / 0,943$$

Cette DVO théorique moyenne doit ensuite être convertie en distance réelle parcourue sur le réseau, selon la procédure de conversion traitée dans le chapitre IV.

En intra-Iris, les mêmes types de graphiques montrent qu’aucune corrélation pertinente ne peut être établie.



Par exemple, la DVO EMD en intra-Iris est représentée ci-contre en fonction de la DMP intra-Iris (en km).

Pour environ 800 trajets VPC sur 35 Iris concernés (avec des seuils de distance de 250 m et de 10 déplacements par Iris), le coefficient R^2 de l’ajustement linéaire n’est que de 0,17.

On se situe là dans des distances moyennes évidemment plus réduites, avec néanmoins un rapport maximum/minimum d’environ 3,5 pour la DMP comme pour la DVO issue de l’EMD.

III.2. Extension à l’échelle cantonale

Au sein d’un canton, les flux se composent de flux *intracommunaux* d’une part, et de flux *intercommunaux* d’autre part.

Les distances et les volumes *intracommunaux* peuvent être évalués pour chaque commune du canton à partir de la méthode *supra*.

Quant aux volumes *intercommunaux*, ils ne peuvent être estimés qu’à l’aide d’un mini-modèle gravitaire, chaque commune constituant une zone du modèle. Les distances intercommunales se calculent classiquement à partir du réseau routier géoréférencé. La diagonale de la matrice d’impédance, non fournie par le réseau, sera fixée en cohérence avec les distances intracommunales précédemment estimées. Le paramétrage du modèle doit permettre d’assurer la convergence entre les volumes de flux intracommunaux obtenus par les deux méthodes.

Il reste alors à sommer les véhicules.km de chacun des deux types de flux pour alimenter les modèles environnementaux.

IV. Etablissement de fonctions reliant distances à vol d'oiseau et distances parcourues sur le réseau routier

Il existe une formulation proposée par l'INRETS (Gallez) en 1996 (DRP = Distance rectilinéaire pondérée) :

Si $DVO \leq 20$ km, $DRP = DVO * [1,1 + 0,3 * \text{Exp}(- DVO / 20)]$

Si $DVO > 20$ km, $DRP = 1,21 * DVO$.

De son côté, le CERTU (actuellement Cerema/DTeCTV) a établi des formules à partir de l'analyse des EMD (« Calcul *a posteriori* des distances dans les enquêtes ménages déplacements », édité en 2005 et actualisé en 2009) :

- pour les trajets à vélo : $DIST = 1,35 * DVO$

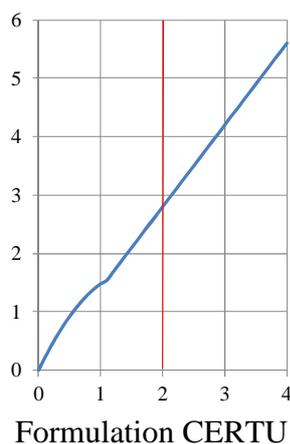
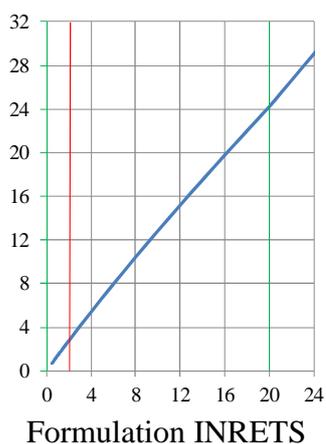
- pour les trajets en TC : $DIST = 1,50 * DVO$

- **pour les trajets en voiture et en deux-roues motorisés :**

- si $DVO \leq 1$ km, $DIST = (2,20 - 0,72 * DVO) * DVO$

- si $DVO > 1$ km, $DIST = 1,40 * DVO$.

La distance routière VP estimée en fonction de la DVO est représentée ci-dessous pour chaque formulation (en km) :



Ces courbes sont en fait quasi rectilignes, la courbe CERTU étant un peu plus pentue que la courbe INRETS.

Afin de compléter ces approches, nous avons utilisé notre modèle Sim'44 pour comparer sur un outil réel les distances parcourues sur le réseau routier aux distances à vol d'oiseau entre centroïdes de zones. En règle générale, ces centroïdes ont été positionnés au barycentre des secteurs urbanisés de chaque zone. Néanmoins, ils sont parfois légèrement décalés, s'ils sont trop proches du point de raccordement au réseau, de façon à bien faire apparaître le connecteur correspondant. Ce décalage n'a aucun impact sur les résultats du modèle lui-même. En revanche, il modifie évidemment la DVO entre le centroïde déplacé et tous les autres.

Nous avons donc construit une version spécifique du modèle dans laquelle les centroïdes sont bien repositionnés sur les barycentres des secteurs urbanisés.

La carte du zonage adopté dans le modèle Sim'44 figure en annexe 6.

Nous avons alors étudié les relations entre la DVO inter-centroïdes calculée à partir des coordonnées des barycentres et la distance parcourue sur le réseau routier (y compris connecteurs) établie sur un critère de choix d'itinéraire reposant sur le temps généralisé routier.

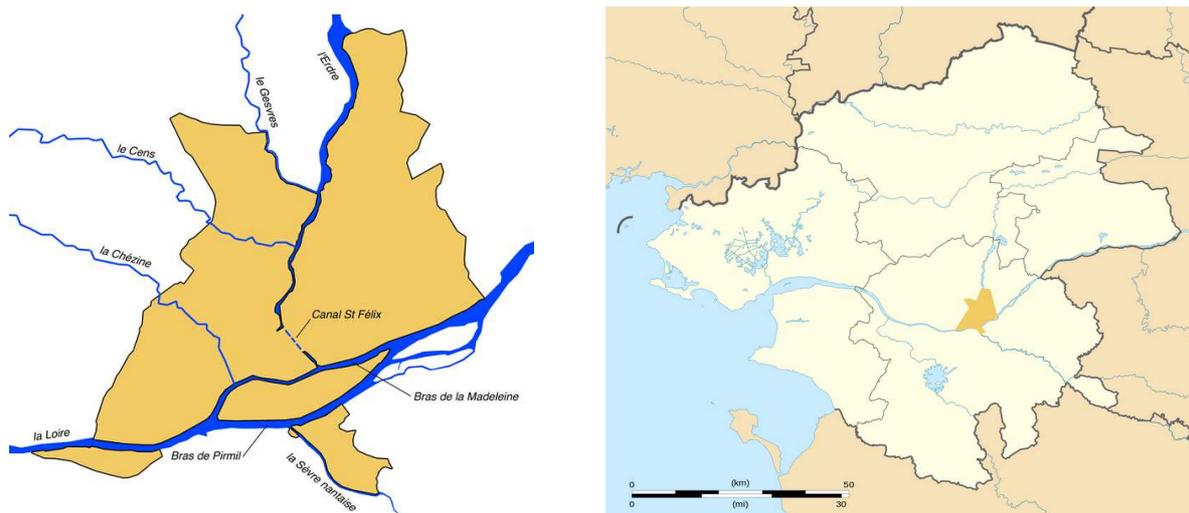
Nous avons, dans un premier temps, comparé distances routières et DVO toutes OD (origine-destination) confondues sur diverses gammes de distances et calculé les régressions linéaires correspondantes :

OD internes Loire-Atlantique y compris traversées de Loire, distances arrondies au dam			
Gamme de distance	Fonction linéaire	R ²	Echantillon
0 - 1000 m	DIST = 1,377 * DVO + 530	0,239	380
0 - 2000 m	DIST = 1,371 * DVO + 520	0,401	1570
0 - 5000 m	DIST = 1,355 * DVO + 570	0,624	6470
1000 - 5000 m	DIST = 1,354 * DVO + 570	0,569	6090
1000 - 10000 m	DIST = 1,464 * DVO + 150	0,763	20250
2000 - 10000 m	DIST = 1,477 * DVO + 50	0,726	19060
2000 - 50000 m	DIST = 1,225 * DVO + 2190	0,953	63600
Toutes (0 - 120 km)	DIST = 1,202 * DVO + 2530	0,976	78200

(Echantillon dénombré sur un seul sens)

Les régressions conduisent à des courbes plus ou moins proches mais la dispersion n'est acceptable que pour les gammes de distances les plus élevées.

Le fleuve ayant donné son nom au département de Loire-Atlantique le traverse d'est en ouest ; on recense une dizaine de lignes de franchissement, dont quatre traversent l'île de Nantes, en intrapériphérique. Cette barrière naturelle revêt un caractère assez spécifique, induisant un allongement très sensible des parcours d'échange nord-sud par rapport aux distances à vol d'oiseau. Cet allongement est naturellement plus fort en valeur relative pour les trajets les plus courts.



Contours et hydrographie de la ville de Nantes et du département de Loire-Atlantique - Cartographie Wikipedia

Dans un deuxième temps, nous avons donc raisonné uniquement sur des OD ne franchissant aucun bras de Loire (les trajets franchissant les petits affluents de la Loire ont néanmoins été conservés), pour étudier plus finement l'influence du type de trajet et du niveau de zonage sur la relation entre les deux variables :

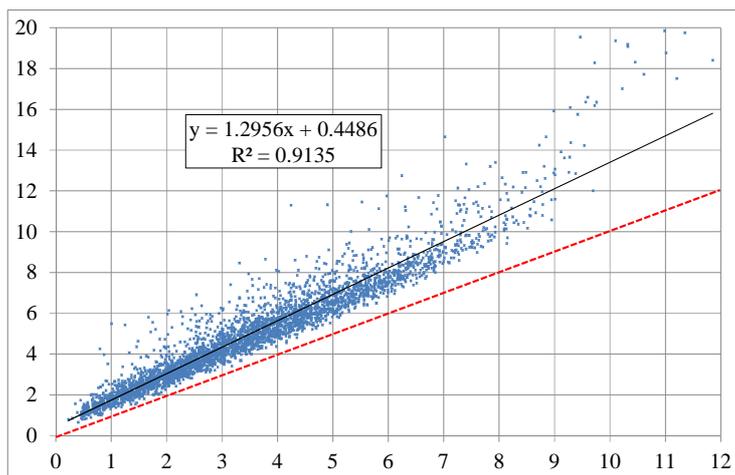
En milieu urbain :

1. OD intégralement nord Loire exclusivement internes à la commune de Nantes (zonage Iris)
2. OD intégralement nord Loire internes à l'agglomération nantaise (zonage Iris)

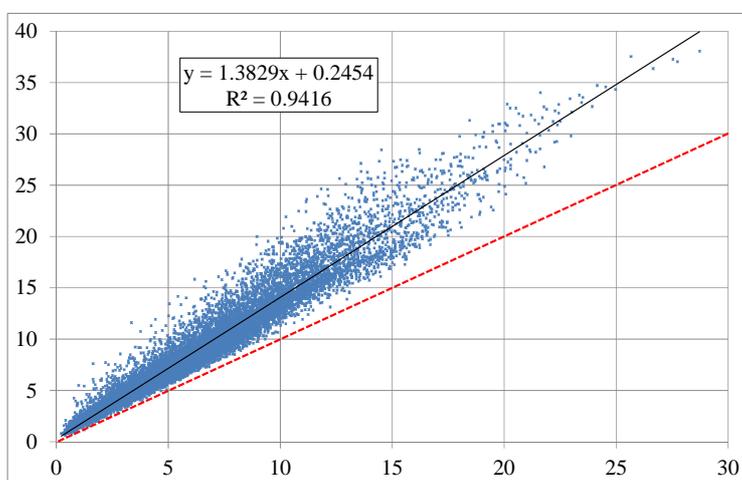
En milieu non urbain :

3. OD intégralement sud Loire hors agglomération nantaise (zonage communal)
4. OD intégralement nord Loire de type échange entre l'agglomération nantaise et le reste du département hors Carene, présentant donc une origine et une destination dans la partie nord Loire de chacun de ces deux territoires (zonages commune et Iris).

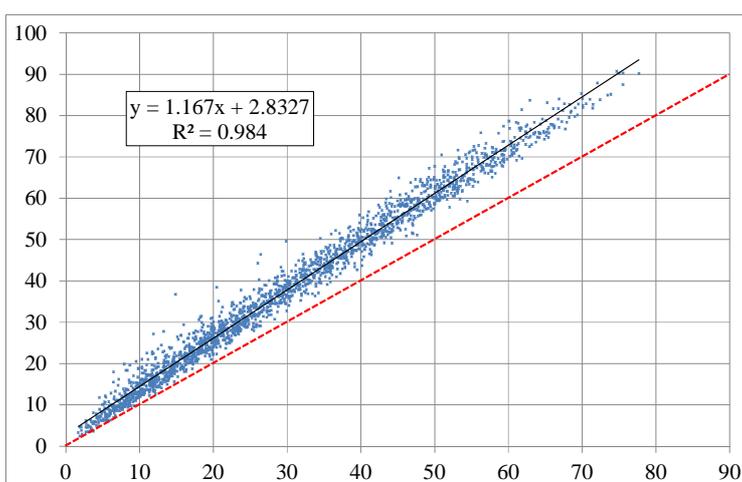
Les graphiques ci-après, exprimant la distance réelle DIST par rapport à la DVO, ont été obtenus à partir de tableaux croisés dynamiques prenant en compte un arrondi des DVO au décimètre. Avec un arrondi à l'hectomètre, les résultats sont peu différents.



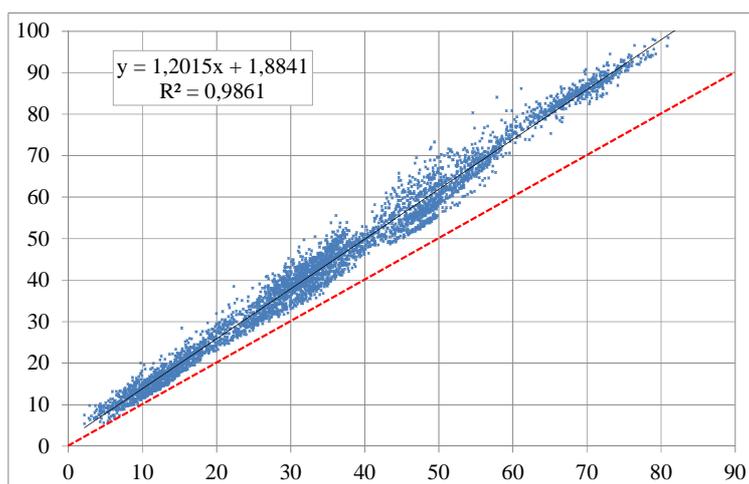
1. **Urbain** : Intra Nantes nord Loire (3486 OD)



2. **Urbain** : Intra Nantes Métropole nord Loire (13530 OD)



3. **Non urbain** : Hors Nantes Métropole et Carene sud Loire (2080 OD)



4. **Non urbain** : Origine : Dépt 44 nord Loire Hors Nantes Métropole et Carene
Destination : Nantes Métropole nord Loire (16830 OD)

On observe que les courbes sont assez voisines sur les trajets urbains en intra Nantes et en intra Nantes Métropole d'une part, et sur les trajets non urbains d'autre part, ces derniers correspondant bien entendu à des distances plus importantes en moyenne. A noter que si l'on impose une ordonnée à l'origine de 2,833 km (celle du 3^{ème} graphique) à la courbe du 4^{ème} graphique, on obtient une pente de 1,180 assez proche de celle du 3^{ème} graphique (avec un R² à peine moins élevé, de 0,9857). Il faut aussi remarquer que ces résultats très semblables sont obtenus sur deux territoires distincts (sud et nord Loire) et sur des ensembles de trajets de types majoritairement différents (tous trajets *versus* trajets pendulaires).

De cette approche, nous proposons finalement deux formulations pour le calcul des distances parcourues sur le réseau, estimées à partir des coordonnées géographiques des points d'origine et de destination du déplacement :

⇒ En milieu urbain, trajets entre communes ou Iris jusqu'à 20 km :

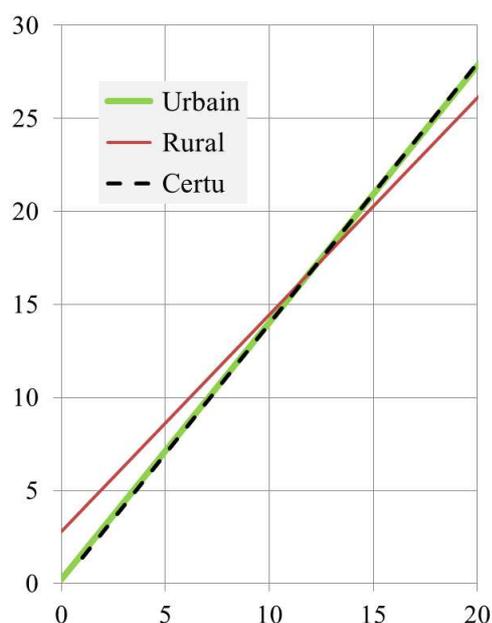
$$\text{DIST} = 1,380 * \text{DVO} + 0,230 \quad (\text{en km})$$

⇒ En milieu non urbain, trajets intercommunaux :

$$\text{DIST} = 1,165 * \text{DVO} + 2,800 \quad (\text{en km})$$

La première formule, en urbain, est obtenue en fusionnant les données des courbes 1 et 2 (avec un R² de 0,945). Pour DVO = 15 km, on obtient une valeur de DIST de 20,9 km en urbain et de 20,3 km en non urbain, soit un écart de 3 % . L'égalité est obtenue à 12 km.

Ci-contre les droites correspondant à ces formules, exprimant DIST en fonction de DVO (toutes deux en km), comparées à la droite Certu (> 20 km) ; on observe que la formule du Certu est pratiquement identique à celle que nous avons établie pour les trajets urbains (pente 1,40 *versus* pente 1,38 et faible ordonnée à l'origine).



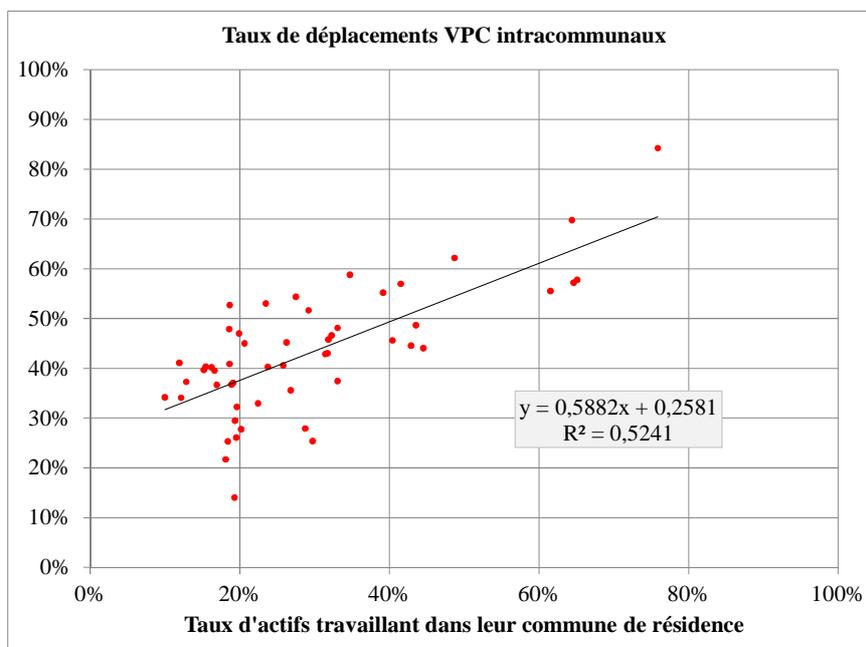
Sur un plan qualitatif, la différence de structure entre les deux formules est assez intuitive :

- en urbain, la forte densité du réseau permet un accès immédiat à l'itinéraire et induit donc un terme constant faible ; en revanche, le coefficient moyen obtenu est assez élevé car un trajet rectiligne est souvent impossible (cas des plans urbains hippodaméens)
- en interurbain, on peut être amené à utiliser une voie secondaire mal orientée par rapport à un trajet vol d'oiseau (terme constant élevé), mais qui donne accès à des liaisons inter-cités assez rectilignes, d'où un coefficient plus réduit.

V. Quantification des volumes de trajets intrazonaux routiers

L'évaluation d'une distance intrazonale routière selon les méthodes proposées dans les paragraphes précédents, puis le cas échéant d'une impédance intrazonale, permet d'alimenter un modèle de distribution gravitaire (s'il existe) apte à fournir, en même temps que les flux interzonaux affectables sur le réseau routier, une estimation des volumes de flux intrazonaux. Lorsque le modèle intègre une mobilité VPC dès l'étape de génération, ces flux intrazonaux sont uniquement routiers. Associés à la distance routière intrazonale moyenne, ils permettent de réaliser directement des estimations de véhicules.kilomètres. Dans le cas d'un modèle reposant sur une génération tous modes, il faudra au minimum recourir à une grille de partage modal, applicable aux flux intrazonaux, pour parvenir à une estimation des volumes de véhicules.kilomètres.

La recherche d'une méthode complète d'estimation de ces volumes reste donc ouverte. Cependant, des perspectives de recherche, s'appuyant sur l'analyse des EMD en liaison avec les principaux déterminants disponibles (typologie de zone, superficie, population par segment, emplois, migrations alternantes,...) peuvent être déjà pressenties. Par exemple, le graphique ci-dessous représente la relation entre le taux de stables communaux (part d'actifs travaillant dans leur commune) et le taux de trajets intracommunaux observés dans l'EMD de Rennes.



Le problème est cependant assez complexe car les caractéristiques propres à chaque zone ne suffisent pas à évaluer le volume des trajets intrazonaux produits : la concurrence des zones voisines, en terme d'attractivité des pôles d'emplois ou des surfaces commerciales, joue certainement un rôle important dans le taux de trajets intrazonaux. Il s'agit *a priori* d'un facteur délicat à quantifier. Les concurrences étant multiples et réciproques, on peut imaginer que le recours à un algorithme de type gravitaire constitue la réponse la plus immédiate à cette question.

VI. Estimation des vitesses pratiquées en intrazone

Les enquêtes déplacements ne peuvent fournir aucun élément d'information sur ce point.

La vitesse moyenne pratiquée semble essentiellement liée au type de milieu considéré ; elle dépend également des périodes de la journée dans les grandes agglomérations soumises à la congestion automobile.

En milieu urbain dense, il est légitime de considérer que la vitesse moyenne pratiquée en intrazone (Iris ou commune) sur un trajet de longueur très modérée est du même ordre de grandeur que celle d'un trajet inter-Iris : nous disposons de relevés de temps de parcours réalisés dans l'agglomération nantaise en 2008 par la technique du « floating car ». Les vitesses moyennes qui en résultent sont cohérentes avec les vitesses moyennes estimées par les modèles de trafic urbains, lorsqu'ils intègrent à la fois des courbes débit-vitesse sur les tronçons et des temps de franchissement de carrefours fonction de la demande. C'est le cas de notre outil Sim'44.

Sur ces bases, en moyenne, un trajet urbain se fait en heure creuse à une vitesse voisine de 25 km/h. En heure de pointe, selon le secteur, la vitesse peut descendre jusqu'à 15 km/h environ.

En milieu non urbain, sur des trajets intracommunaux restant relativement courts en distance et en temps, les situations peuvent s'avérer assez contrastées, mais une gamme de vitesse allant de 25 à 35 km/h en journée semble assez réaliste.

Ces estimations doivent naturellement être mises en rapport avec le degré de sensibilité des résultats des modèles environnementaux (consommation, émissions) à la variable « vitesse ».

VII. Méthodes d'estimation des déplacements intrazonaux utilisées dans Sim'Ouest, Sim'44 et Eval-PDU

En termes de zonage, plusieurs configurations se présentent :

- cas n° 1 : des zones dont l'urbanisation est assez homogène sur toute leur surface ; c'est le cas de certains Iris, de quelques communes (intégrées à une agglomération par exemple), ou de cantons constituant des communes de grande taille (ex. Nantes, découpée en 6 cantons)
- cas n° 2 : des zones dans lesquelles l'urbanisation est essentiellement concentrée en un point ; c'est typiquement le cas de nombreuses communes rurales non découpées en Iris
- cas n° 3 : des zones multipolaires : certaines communes n'appartenant pas à une grande agglomération mais constituées de plusieurs Iris, cantons regroupant plusieurs communes hors unités urbaines...

Il s'agit d'estimer une distance moyenne parcourue en intrazone, puis d'en déduire une impédance intrazonale, exprimée par exemple en temps généralisé.

Dans le cas n° 1, la distance moyenne dépend de la taille de la zone mais aussi de sa configuration ; pour le modèle **Eval-PDU**, réalisé dans le cadre d'une action de recherche ANR appliquée à l'aire urbaine de Nantes, une grille d'estimation a ainsi été construite à partir d'une simple discrétisation de l'intérieur des zones en mailles carrées, pour six formes principales d'urbanisation ; on calcule alors aisément la moyenne de tous les couples origine-destination possibles.

Cette méthode est détaillée et illustrée en annexe 8.

Le cas n° 2 peut être ramené au cas n° 1 en ne retenant que la partie urbanisée de la commune ou de l'Iris.

Le cas n° 3 se présente notamment dans le modèle Sim'Ouest, découpé en cantons, et ne peut pas être traité de la même manière qu'une zone homogène : pour ces zones multipolaires, l'analyse doit distinguer d'une part les déplacements intrapôles, d'autre part les déplacements entre pôles de la même zone. Entre ces deux catégories, il est indispensable de procéder à des évaluations par mode du fait que les gammes de distance sont souvent différentes (importance des modes actifs en intrapôles, prédominance des modes motorisés de pôle à pôle).

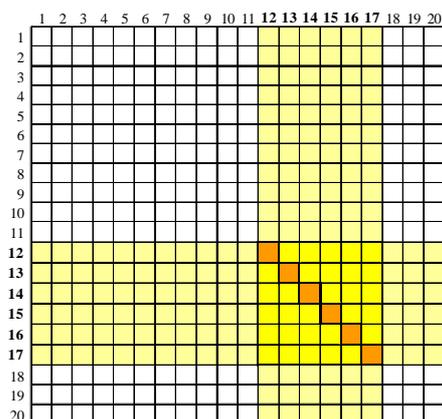
Pour les modèles **Sim'Ouest** et **Sim'44**, par souci de cohérence entre ces deux outils, une approche différente de celle d'Eval-PDU a donc été menée ; elle s'appuie sur une analyse des déplacements recensés dans des EMD en Bretagne et Pays de la Loire.

VIII. Comparaison des flux intrazonaux de Sim'Ouest aux flux de Sim'44

Le zonage cantonal de Sim'Ouest constitue une agrégation des zones de Sim'44. En conséquence, il est possible de comparer les flux internes à un canton de Sim'Ouest à ceux de l'ensemble des zones de Sim'44 qui le composent.

Cette comparaison doit se faire de préférence tous modes confondus puisque, de façon générale, la problématique du choix de mode pour les déplacements intrazonaux ne peut pas être traitée par un algorithme de calcul : en effet, d'une part la distribution de la demande interne n'est pas déterminée, d'autre part l'offre de transport n'y est pas définie.

De chaque modèle, on extrait donc les matrices brutes sur 24 heures issues de l'étape de distribution. Cette opération est faite selon les principaux segments de population communs aux deux outils (actifs, étudiants, inactifs) ainsi que tous modes confondus.



Ce tableau schématique illustre le mécanisme d'agrégation des matrices Sim'44 en matrices cantonales cohérentes avec celles de Sim'Ouest : les zones 12 à 17 de Sim'44 composant un canton présentent chacune un flux intrazonal (de couleur orange) ; le flux intrazonal Sim'Ouest du canton correspondant est la somme de ces flux intrazonaux Sim'44 et des flux d'échange entre les zones composant le canton (en jaune vif). A l'échelle cantonale, il est alors possible de comparer les volumes obtenus dans chacun des modèles par des procédures de calcul différentes.

Il faut toutefois souligner que le modèle Sim'Ouest calcule tous les déplacements effectués par les résidents de Bretagne et des Pays de la Loire, y compris pour leurs trajets intracantonaux en Loire-Atlantique. En effet, l'étape de distribution estime des volumes de déplacements intrazonaux quels que soient le département et le canton d'origine des résidents du périmètre d'étude. Dans Sim'44 bien entendu, on ne dispose que des déplacements des

résidents de ce département. Il faut donc au préalable extraire de Sim'Ouest les déplacements des résidents des autres départements.

Autre détail de procédure : Sim'Ouest ne prend en compte que la population de 18 ans et plus, car on y a considéré comme négligeables les déplacements quotidiens effectués par les moins de 18 ans en dehors de leur canton. Sim'44 dispose des mêmes segments (18 ans et plus) hors Nantes Métropole mais intègre également la population des 11-17 ans résidant dans Nantes Métropole. Ce choix a été fait pour apprécier au mieux la fréquentation des transports en commun de l'agglomération nantaise. Mais les moins de 18 ans effectuent tout de même dans Nantes Métropole des déplacements inter-Iris et intercommunaux : il convient donc de les exclure également de la comparaison des deux modèles.

Enfin, en vue d'applications environnementales, la problématique de l'estimation des trajets intrazonaux concerne essentiellement les trajets routiers. Mais on ne dispose évidemment d'aucun moyen fiable pour approcher la répartition modale en intra-canton dans Sim'Ouest (tout comme en intra-Iris ou en intracommune dans Sim'44).

In fine, la comparaison entre les deux modèles doit donc se faire **tous modes et pour les mêmes segments**, sur le découpage cantonal de Sim'Ouest agrégeant les zones de Sim'44.

Premier constat : comparaison des volumes de déplacements produits par l'ensemble des résidents de Loire-Atlantique de 18 ans et plus :

	Sim'Ouest	Sim'44 agrégé	Ecart
Flux intracantonaux	1 858 000	1 555 000	-16%
Flux intercantonaux	1 434 000	1 816 000	27%
Flux totaux	3 292 000	3 371 000	2.4%

Les étapes de génération des deux modèles sont toutes construites sur les données de mobilité de l'ENTD 2008. On retrouve donc, sur des segments communs, un volume total de déplacements d'un volume équivalent.

En revanche, la répartition entre intra et intercantonaux est nettement différente : Sim'44 estime un volume moins important de déplacements intracantonaux : 56 % de déplacements intracantonaux dans Sim'Ouest, 46 % dans Sim'44.

En ce qui concerne l'étape de distribution, pour le motif théorique domicile-travail D-T, le calage des paramètres des fonctions gravitaires a également été effectué dans chaque outil sur le fichier des flux de migrations alternantes. Les méthodes ne sont pas strictement identiques dans Sim'Ouest et Sim'44 mais reposent sur les mêmes principes : les temps généralisés sont associés à des coefficients d'impédance α dépendant du type de relation, ces derniers étant établis en fonction d'une classification des zones d'origine et de destination : exemple, relation D-T liant un pôle secondaire à l'agglomération importante la plus proche.

Pour les autres motifs, le critère de calage s'appuie sur la reconstitution des gammes de distances parcourues observées dans l'ENTD pour chaque motif à destination.

Toutefois, les distances interzonales propres à chaque modèle sont différentes :

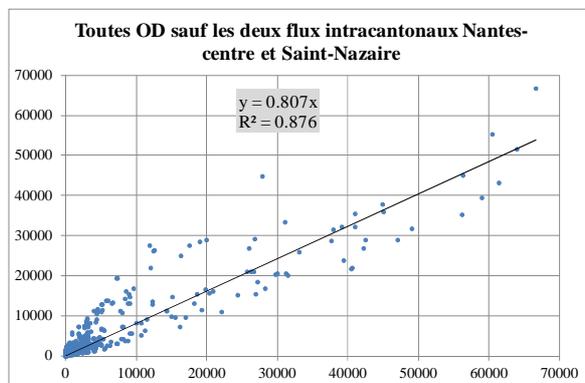
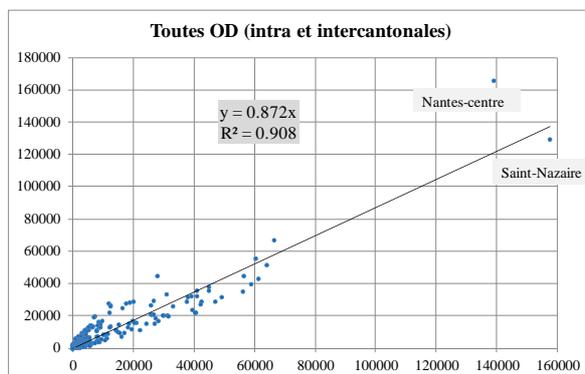
- de quelques kilomètres à plus de 300 km pour Sim'Ouest
- de quelques centaines de mètres à 100 km environ pour Sim'44.

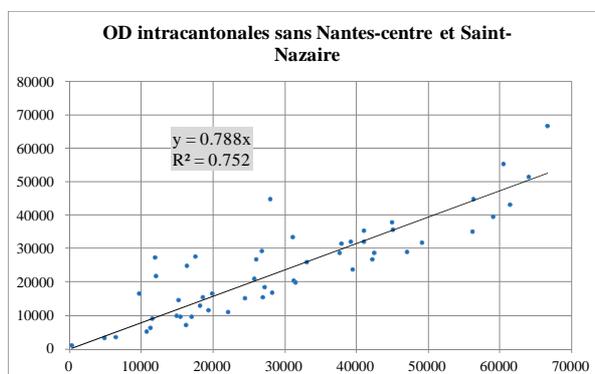
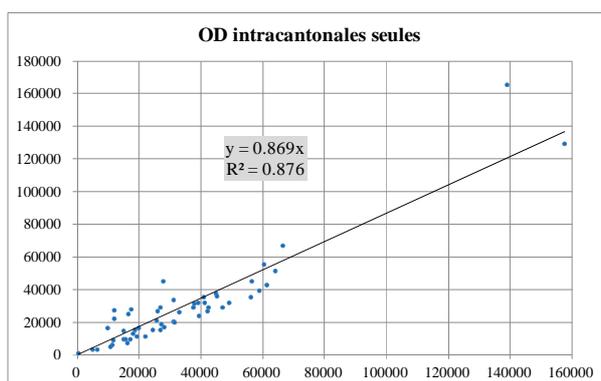
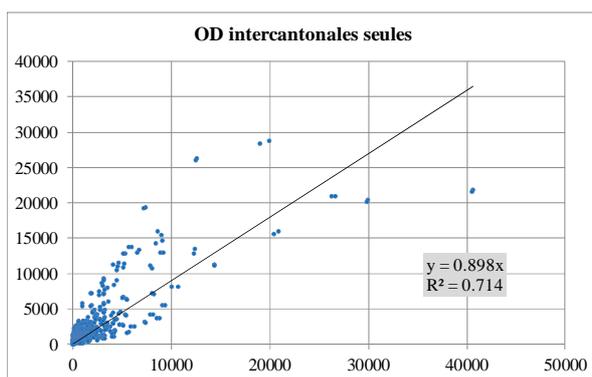
La fonction exponentielle utilisée dans l'algorithme gravitaire, malgré l'ajustement des coefficients α par segment et par motif, ne permet pas de reproduire strictement la répartition des distances observées dans l'enquête.

Enfin, l'algorithme du logiciel Visem utilisé pour cette étape de distribution effectue un redressement de type Fratar limité aux marges d'émission, donc sans contrainte sur les marges d'attraction. Cela conduit souvent à un renforcement exagéré des flux à destination des zones présentant les potentiels d'attraction les plus importants. Par exemple, on peut retrouver des flux à destination travail d'un volume supérieur au nombre des emplois de la zone (Cf. exemple en annexe 9).

La recherche de l'optimum, dans chacun des deux modèles, ne conduit donc pas à des paramétrages identiques.

Les cinq graphiques suivants représentent les flux Sim'Ouest (en abscisse) et Sim'44 agrégés au canton (en ordonnée) selon différentes sélections d'OD.





On observe que, malgré l'écart d'échelle (dans un rapport de l'ordre de 3,7) et des méthodes d'estimation des flux intrazonaux voisines mais non superposables, les flux tous modes agrégés de Sim'44 sont assez cohérents avec ceux de Sim'Ouest.

Le recours à des méthodes d'estimation plus homogènes améliorerait certainement cette convergence : méthode strictement identique dans les deux modèles au niveau intracommunal, complétée, pour chaque canton de Sim'Ouest, par l'application d'un algorithme gravitaire aux communes qui le constituent.

IX. Schématisation des étapes de génération / distribution de deux modèles de déplacements emboîtés

Nous avons choisi d'effectuer un calcul de distribution gravitaire sur un territoire schématisé par un carré de 16 km de côté, selon deux échelles de découpage :

- un découpage « macro », en 16 zones constituées par des carrés de 4 km de côté
- un découpage « micro », gigogne du précédent, constitué de 256 carrés d'un km de côté.

Les deux représentations du même territoire se présentent donc sous la forme suivante :

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128
129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208
209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224
225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256

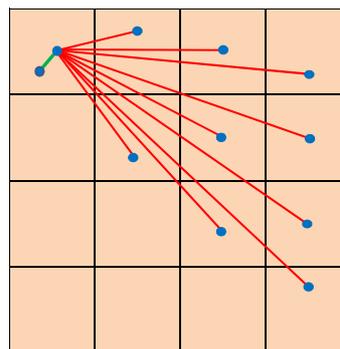
On peut ainsi calculer deux matrices de flux OD de taille très différente :

- 16 * 16 soit 256 OD macro
- 256 * 256 soit 65536 OD micro.

On utilise une fonction gravitaire simple de formule : $F_{ij} = K * E_i * A_j * e^{-\alpha * D_{ij}}$

- F_{ij} Flux OD de la zone i à la zone j
- K Constante permettant de fixer le total des flux
- E_i Potentiel d'émission de la zone i
- A_j Potentiel d'attraction de la zone j
- α Coefficient d'impédance
- D_{ij} Distance entre les zones i et j ou autre variable (temps de trajet, temps généralisé...)

Les traits rouges représentés dans le schéma ci-contre correspondent aux neuf distances interzonales différentes calculées dans un carré de 16 zones (4 sur 4). La distance intrazonale estimée est figurée par le trait vert.



Un premier calcul porte sur l'estimation de la distance moyenne parcourue entre toutes les microzones constituant une macrozone. Cela permet de fournir une première valeur de la distance moyenne parcourue à l'intérieur d'une macrozone : on obtient un peu plus de 2 km, soit environ la moitié de la longueur du côté. On effectue ensuite quelques itérations en affectant à chaque trajet interne à une microzone la distance moyenne correspondant à la proportion obtenue sur la macrozone (équivalence des comportements aux deux échelles) : on converge rapidement sur un **ratio distance/côté voisin de 0,510** (0,50997). Cette valeur est cohérente avec le ratio adopté pour cette forme géométrique dans le modèle du projet Eval-PDU (Cf. en annexe 7).

On dispose donc ainsi de distances intrazonales moyennes pour des secteurs de forme carrée : ici, 2,040 km pour les macrozones et 0,510 km pour les microzones.

Les potentiels des microzones sont définis à partir d'un processus de calcul aléatoire, les potentiels des macrozones étant bien entendu égaux à la somme de ceux des microzones associées. Les valeurs aléatoires retenues pour les potentiels à l'échelle des microzones sont ici comprises entre 10 et 50.

Le coefficient K permet de rapporter la somme des déplacements émis par le territoire à une valeur commune aux versions macro et micro (1000), ce qui correspond donc à un redressement global. Un redressement complémentaire sur les marges d'émission ou sur les deux marges (émission et attraction) peut naturellement être réalisé à la suite. *A priori*, on adopte la même valeur du coefficient α pour les fonctions macro et micro.

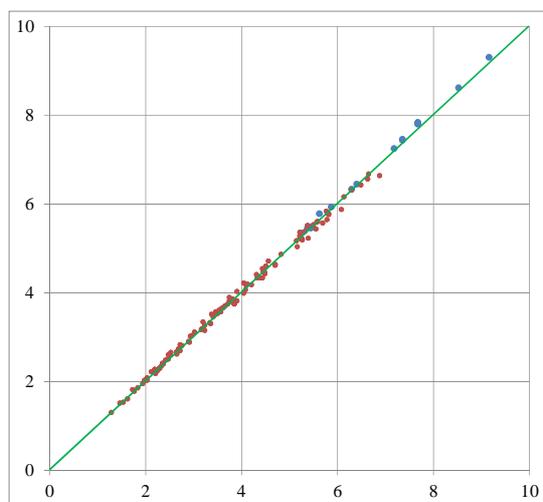
Le calcul est mis en œuvre sur Excel pour chacun des découpages. Un TCD permet ensuite de comparer les OD macro aux OD micro agrégées au niveau macro.

Relation entre OD macrozonales et OD microzonales agrégées

Les graphiques représentent :

- en abscisse, les flux calculés au niveau des macrozones
- en ordonnée, les flux calculés au niveau des microzones, agrégés au niveau macro.

Les deux séries de flux peuvent ainsi être comparées au niveau macrozonal. Les flux sont tous rapportés à un total, arbitraire, de 1000, avec un coefficient global K_{micro} et K_{macro} . Les points bleus correspondent aux flux internes aux macrozones, les rouges aux interzonaux (au niveau macro). Le coefficient α est d'abord fixé à **0,10**.

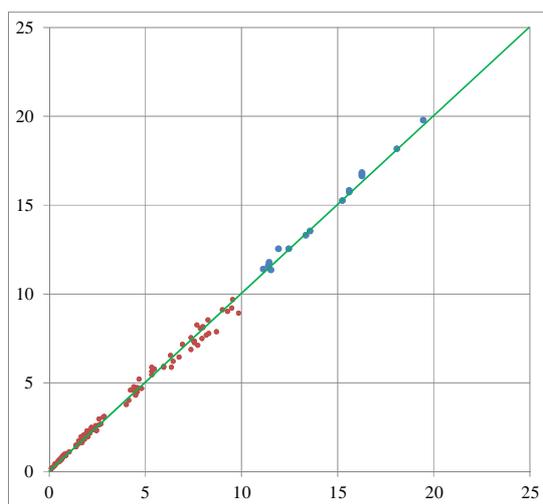


On observe que les points se situent très près de la diagonale : les flux calculés aux deux échelles, qu'ils correspondent aux trafics intrazonaux (bleus) ou interzonaux (rouges), sont donc très voisins.

Avec le coefficient α retenu, les points bleus présentent en moyenne des valeurs nettement plus élevées que les rouges. Plus précisément, la valeur moyenne des flux intrazonaux est de 6,75. Elle n'est que de 3,72 pour les interzonaux.

Lorsque le coefficient α augmente, les points restent sur la diagonale mais les écarts entre intra et interzonaux s'accroissent ; naturellement, à chaque échelle, les volumes de flux interzonaux se contractent au bénéfice de ceux des intrazonaux.

Cf. graphique page suivante avec une valeur de α de 0,30.

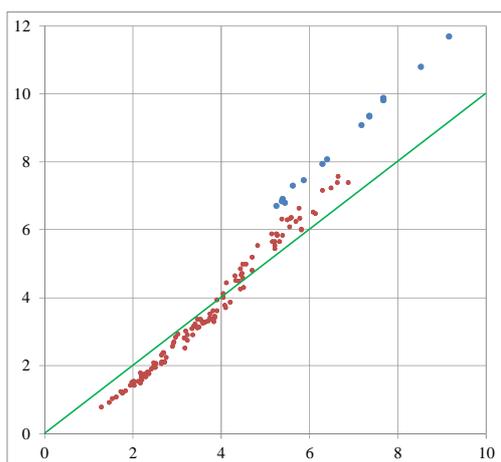


$\alpha = 0,30$

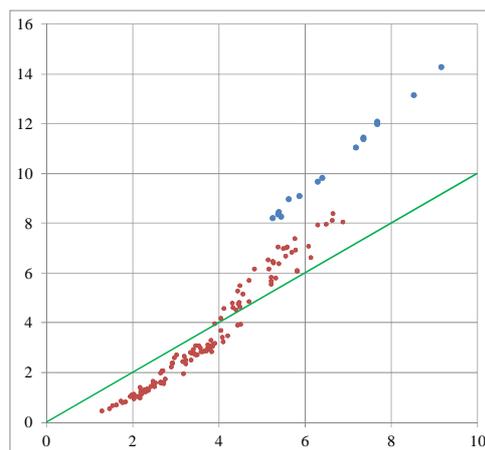
Un coefficient α plus élevé rendant la distance plus dissuasive conduit donc à des parts de trajets intrazonaux plus importantes ; Cf. ci-contre la part du volume des trajets intrazonaux en fonction du coefficient α :

	Macro	Micro agrégé
$\alpha = 0,05$	8,4 %	8,5 %
$\alpha = 0,10$	10,8 %	11,0 %
$\alpha = 0,20$	16,5 %	16,8 %
$\alpha = 0,30$	22,9 %	23,3 %

Les graphiques ci-dessous correspondent à des valeurs différentes du coefficient α dans les deux échelles. On observe alors que les flux macro et micro agrégés ne coïncident plus du tout, les écarts relatifs atteignant ici des valeurs très importantes :



α macro = 0,10 et α micro = 0,15



α macro = 0,10 et α micro = 0,20

Cette approche très schématique a bien sûr ses limites. Elle montre cependant que les estimations de flux intrazonaux à différentes échelles ne peuvent être cohérentes que sous deux conditions principales :

1. utiliser un algorithme de distribution comportant le même paramétrage à chaque échelle de travail (par exemple gravitaire simple avec le même coefficient d'impédance α)
2. établir des modalités de calcul des impédances intrazonales parfaitement cohérentes (distances, temps de trajet, temps généralisés...).

En pratique, dans des modèles réels, on utilise différents coefficients α , plus ou moins dissuasifs par rapport à la distance ou au temps, au moins en fonction du motif de destination du déplacement. La première condition pourrait alors être assez bien respectée si les pondérations de volume de flux entre motifs (et le cas échéant entre segments de population) aux deux échelles étaient bien cohérentes. Ce n'est pas le cas du fait même que les motifs non contraints (achats, affaires personnelles) présentent des gammes de distance inférieures à celles des motifs obligés (travail, affaires professionnelles, études).

En ce qui concerne la seconde condition, le problème est délicat : les distances et les temps de parcours interzonaux sont assez aisés à estimer sur la base d'un réseau routier géoréférencé et doté des caractéristiques adéquates : longueur des sections, vitesse pratiquée, sens autorisé, fonctionnalités des points d'échange... En revanche, les éléments objectifs et précis manquent souvent pour reconstituer la valeur moyenne de l'impédance interne pondérée par les poids des populations concernées dans les différents secteurs composant les zones. C'est notamment le cas lorsque l'on travaille à une échelle territoriale d'assez petite taille (commune ou Iris).

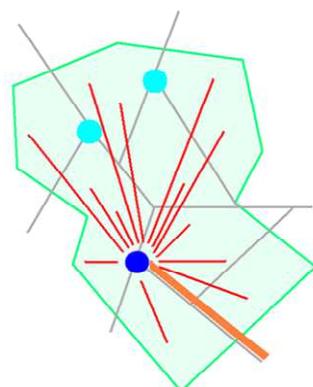
Nous avons proposé quelques formulations lors de l'élaboration des modèles Sim'Ouest et Sim'44. Il est intéressant de remarquer que nous avons été conduits à adopter des méthodes différentes selon que l'on raisonnait à l'échelle du canton (pour Sim'Ouest) ou à celles de la commune et de l'Iris (pour Sim'44). La recherche de la meilleure méthode dans chaque modèle ne garantit pas nécessairement une parfaite cohérence entre deux échelles de travail différentes.

Annexes

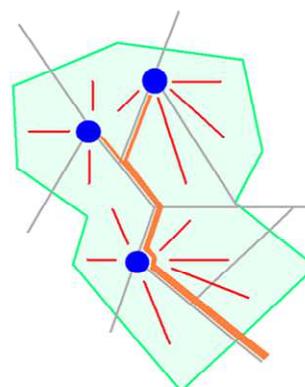
Annexe 1

PROBLEMATIQUE DES TRAJETS TERMINAUX

Les flux routiers à destination de la zone sont affectés sur le réseau modélisé jusqu'au(x) connecteur(s). La longueur des trajets terminaux réellement effectués en dehors du réseau modélisé dépend du nombre et de la répartition de ces connecteurs.



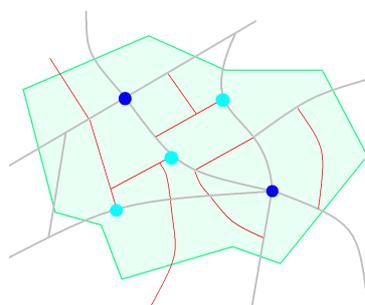
Affectation au connecteur le plus proche ou unique
⇒ Sur réseau non modélisé, trajets terminaux importants



Affectation répartie sur l'ensemble des connecteurs
⇒ Sur réseau non modélisé, trajets terminaux réduits

 Zone
  Réseau modélisé
  Flux routiers affectés
  Trajets terminaux non affectés
  Connecteurs

Citons également l'incidence de l'alternative concernant la répartition des flux émis et attirés, soit en volume total émis et attiré, soit par origine-destination (OD), explicitée à partir du schéma ci-contre :



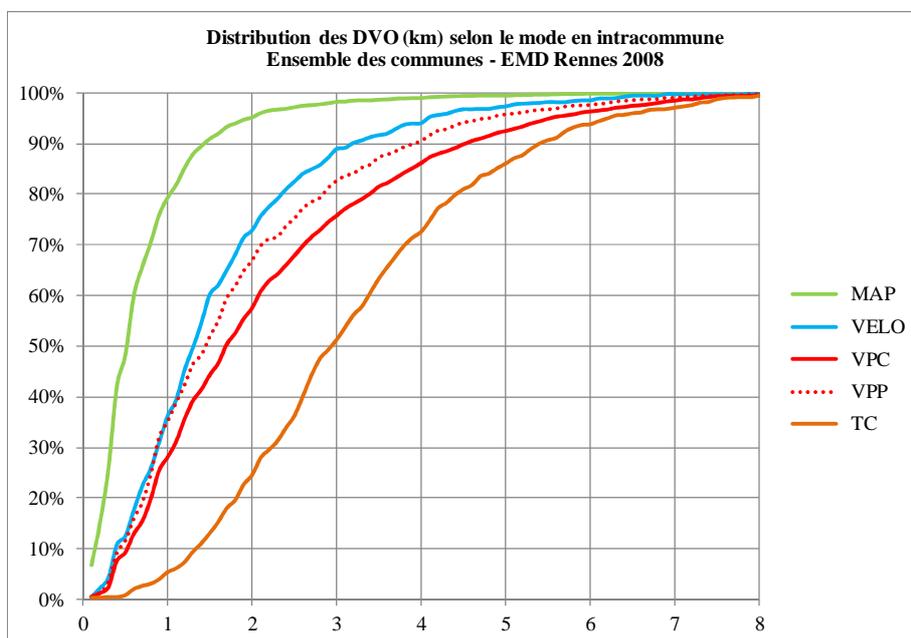
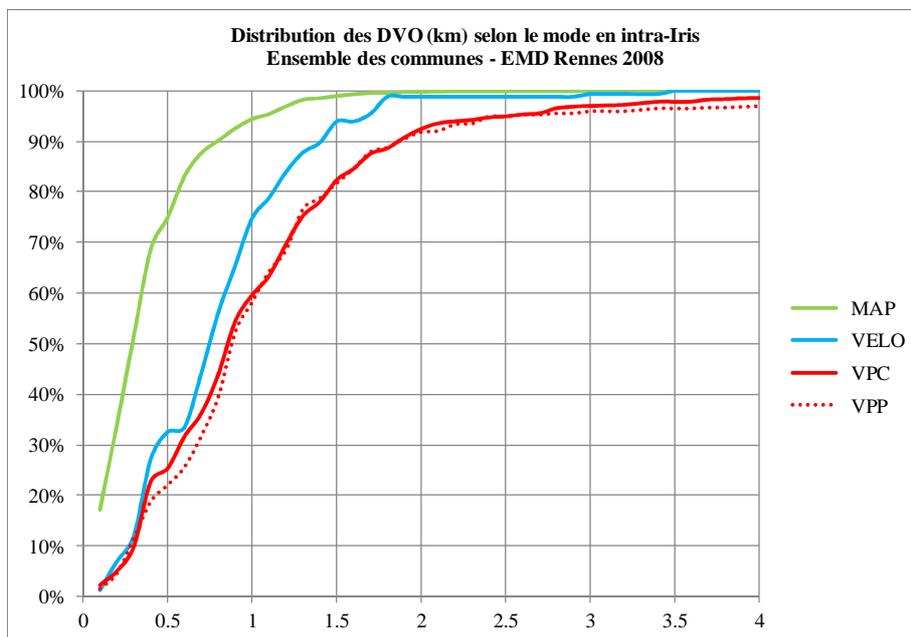
 Zone
  Réseau modélisé
  Réseau non modélisé
  Connecteurs

Selon ce schéma, les trajets terminaux (hors réseau modélisé) se diffusant dans la zone sont moins longs lorsque l'on utilise cinq connecteurs plutôt que deux. Les distances parcourues sur le réseau modélisé – ainsi que sur les connecteurs – peuvent être alors plus ou moins importantes selon la distribution de la demande. En revanche lorsque, pour chaque couple origine-destination, les flux sont répartis en pourcentage sur l'ensemble des connecteurs, ce qui semble plus réaliste, la distance parcourue sur le réseau structurant est plus importante, et la distance en véhicules.km parcourue sur chaque connecteur est connue.

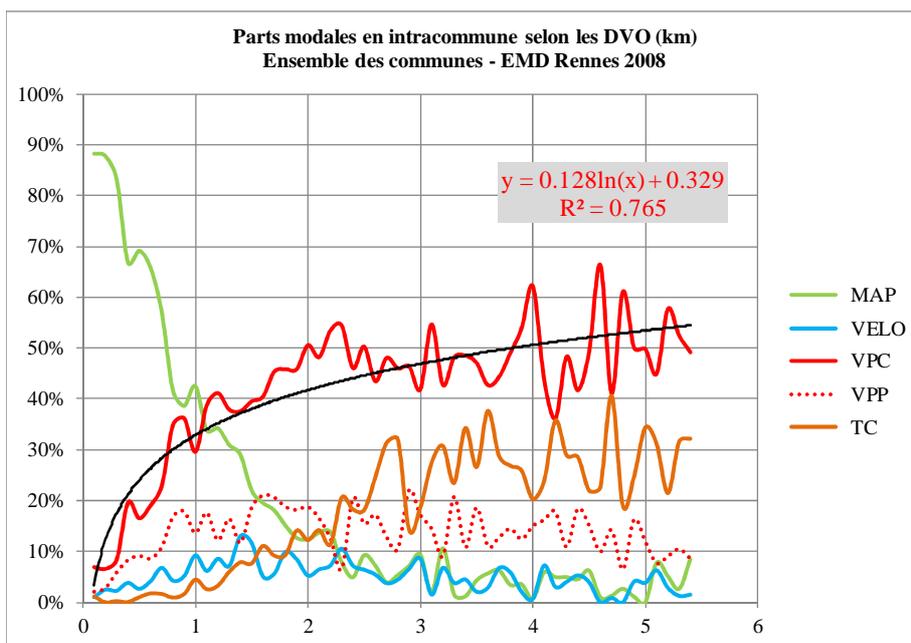
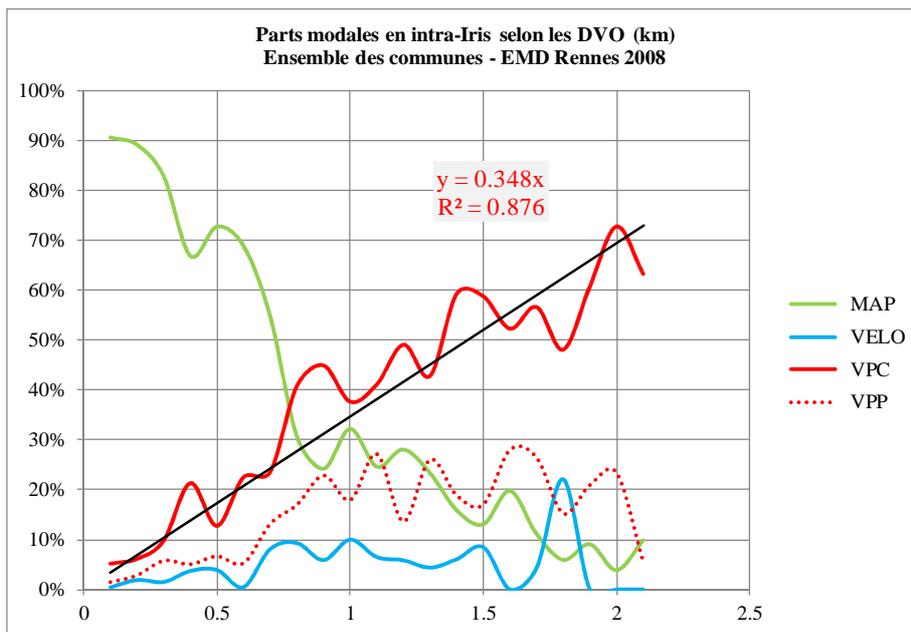
La longueur des trajets terminaux à estimer est égale à la différence entre distance totale parcourue dans la zone et distance effectuée uniquement sur le réseau modélisé. Cette estimation reste donc étroitement liée aux choix effectués dans la construction du modèle et ne peut pas être réalisée selon une approche générale.

Annexe 2

EMD DE RENNES, ANALYSE DES TRAJETS INTRAZONAUX

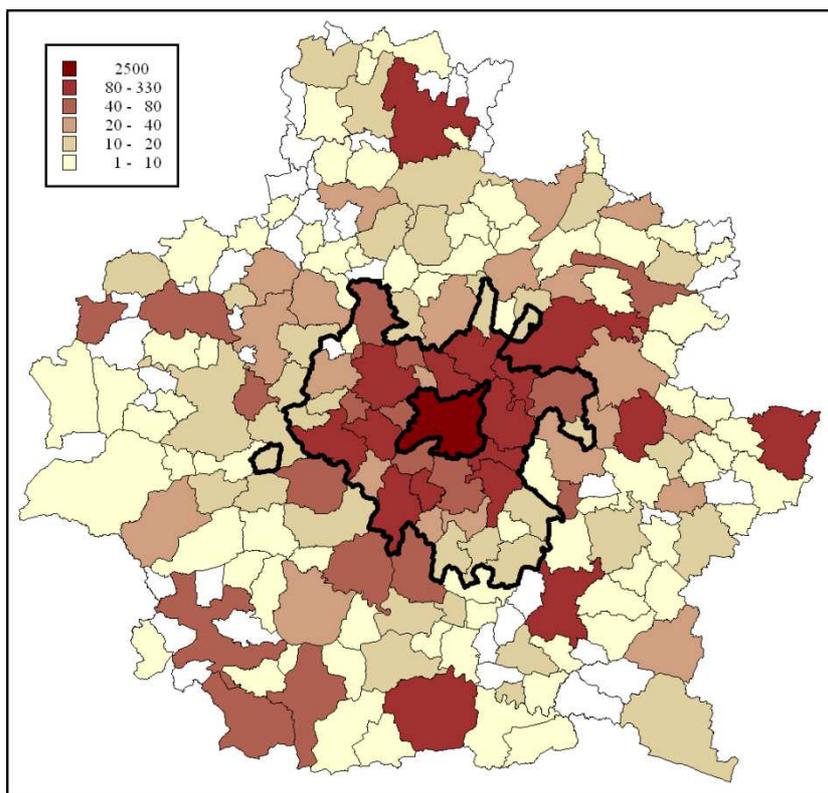


Graphiques réalisés sur des données redressées

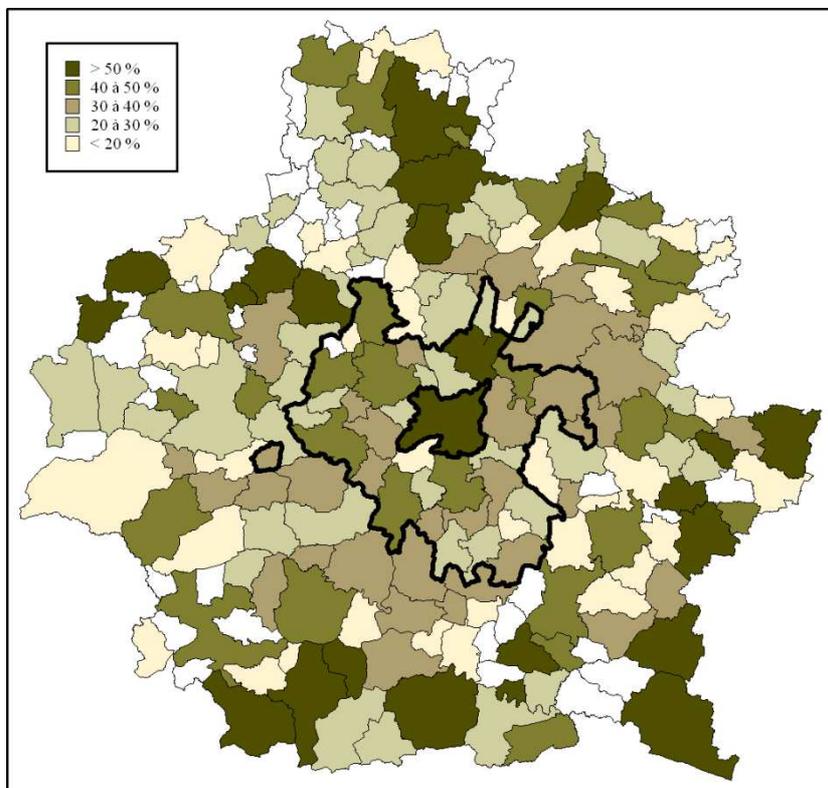


Graphiques réalisés sur des données redressées

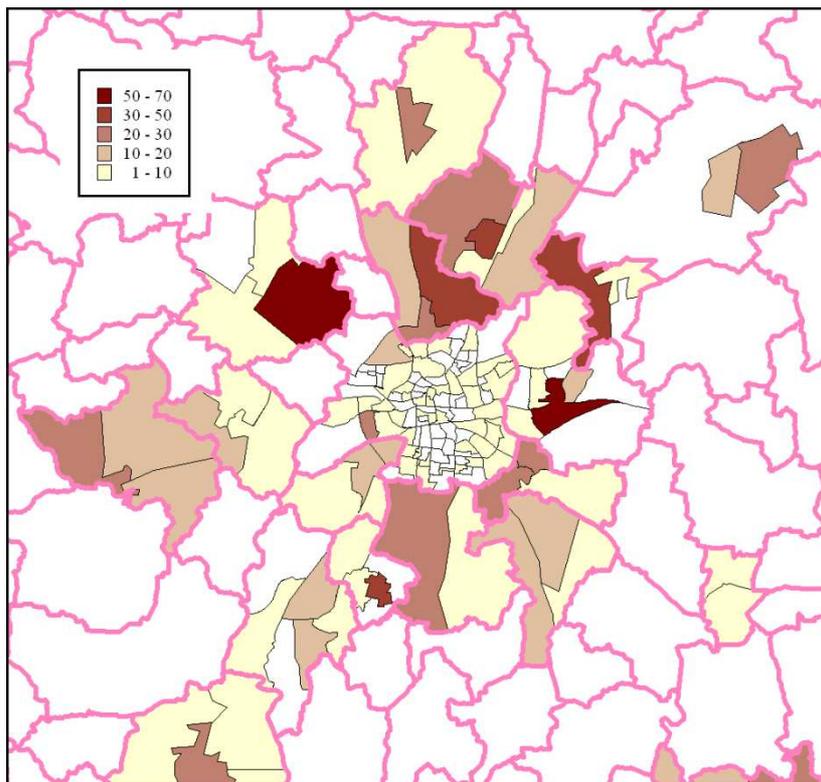
Par commune, nombre de trajets VPC intracommunaux enquêtés dans l'EMD de Rennes 2008



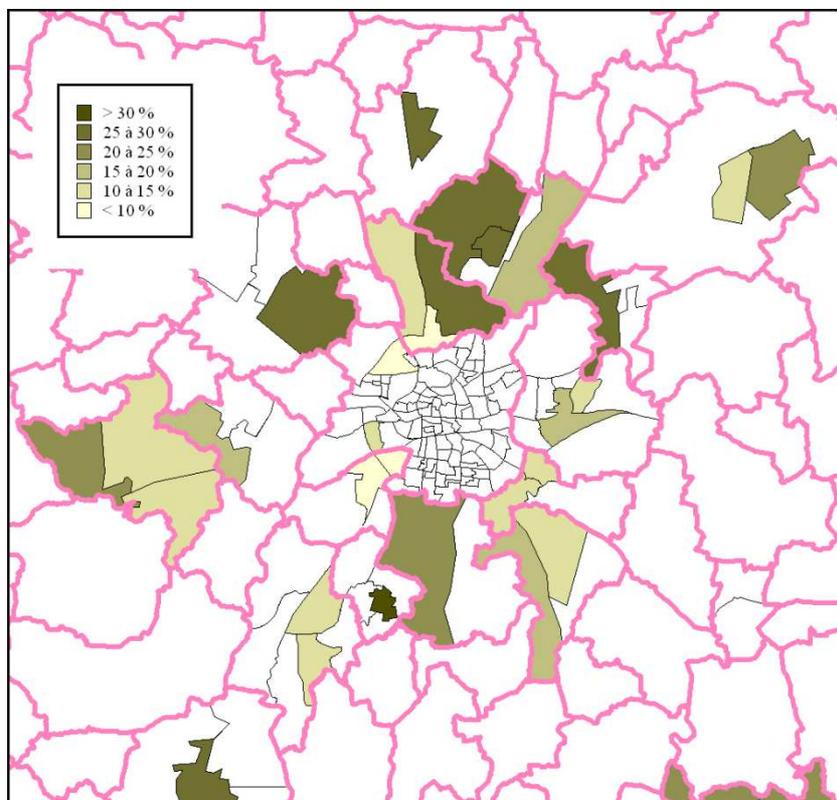
Part des trajets VPC intracommunaux dans l'ensemble des trajets VPC émis par la commune



Par Iris, nombre de trajets VPC intra-Iris enquêtés dans l'EMD de Rennes 2008



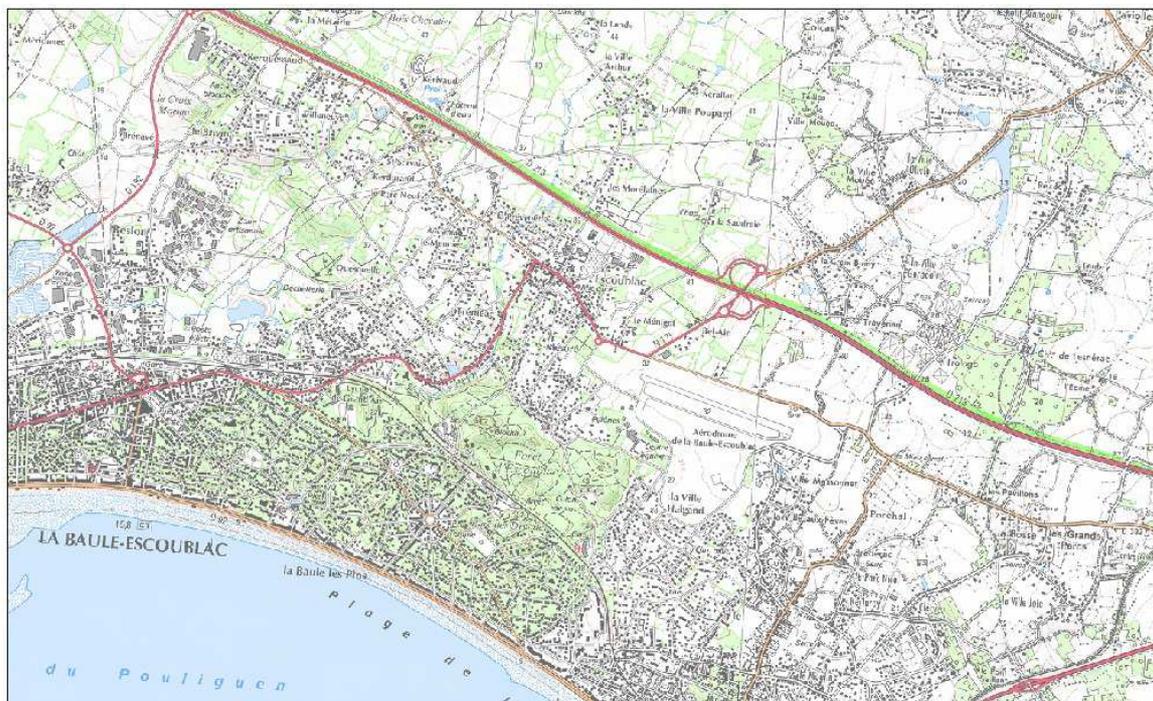
Part des trajets VPC intra-Iris dans l'ensemble des trajets VPC émis par l'Iris



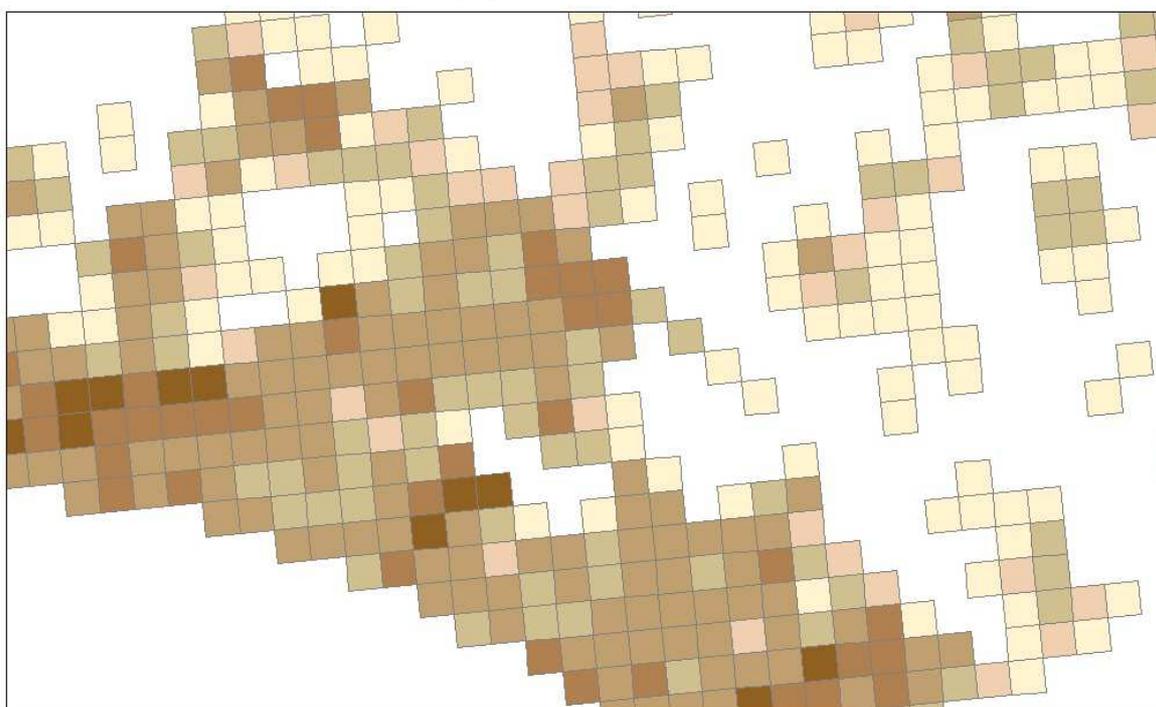
Annexe 3

EXEMPLE DU SECTEUR DE LA BAULE (44)

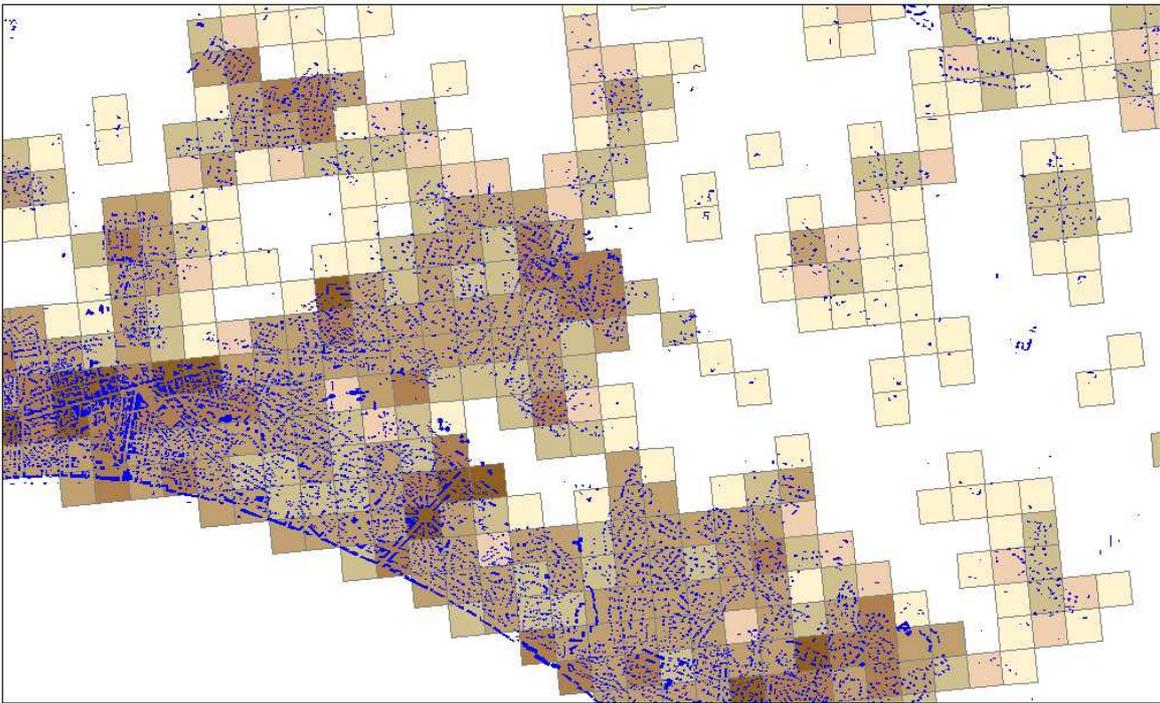
Cartographie IGN Scan 25



Carroyage INSEE 200 m * 200 m



Carroyage et Bâti indifférencié BdTopo®



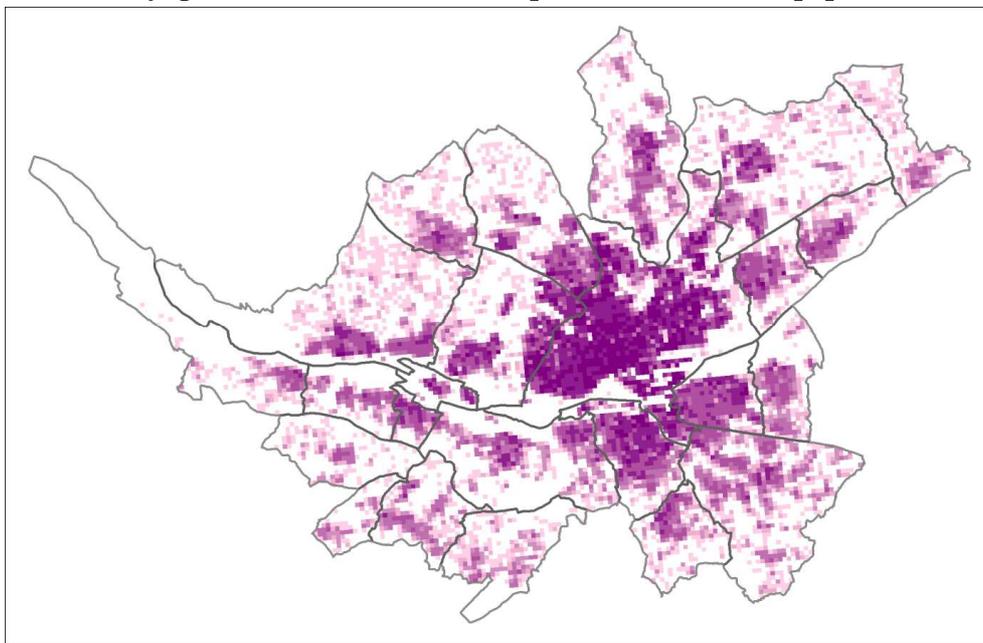
Carroyage, Zones_Occupation_Sol Bâti BdCarto® (vert) et CLC 111 & 112 (rose)



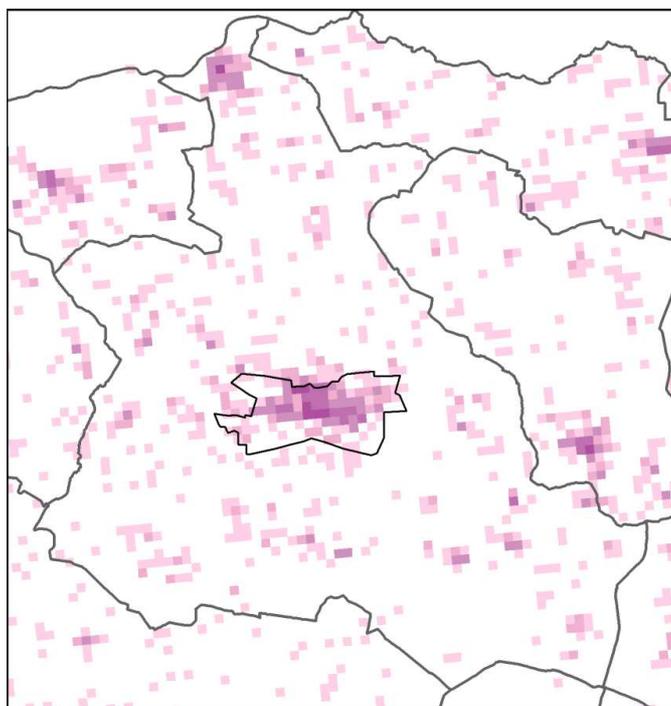
Annexe 4

AUTRES EXEMPLES DE CARROYAGE INSEE SELON DENSITE DE POPULATION

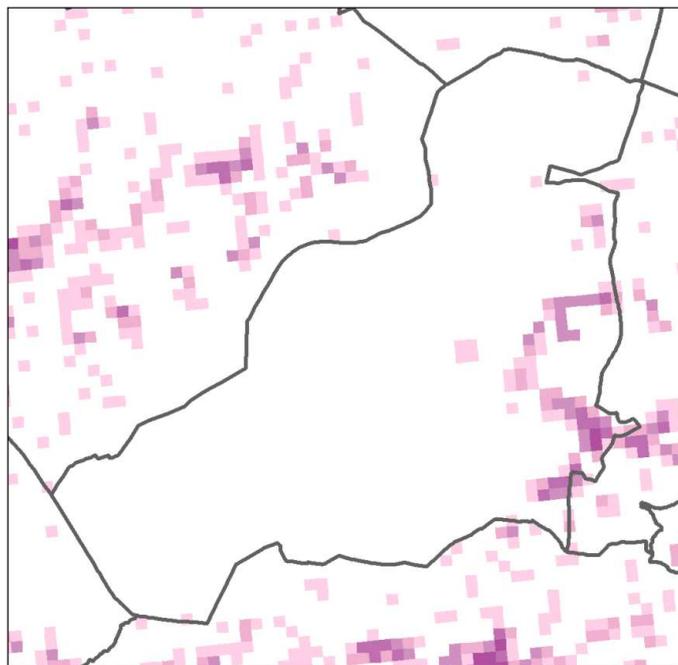
Carroyage INSEE sur Nantes Métropole selon densité de population



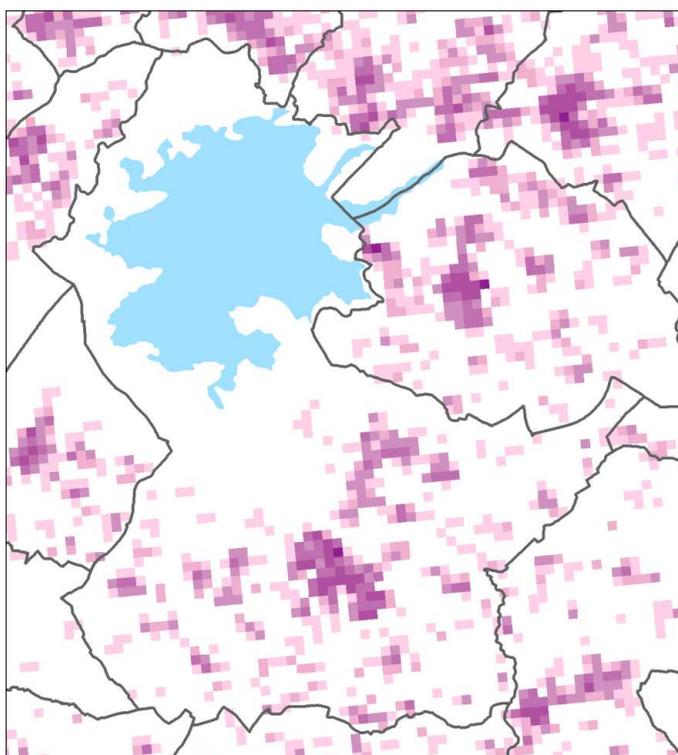
Commune comportant un Iris central et un Iris périphérique – Carroyage INSEE



Commune couverte en majorité par une forêt – Carroyage INSEE



Commune comportant un espace lacustre – Carroyage INSEE



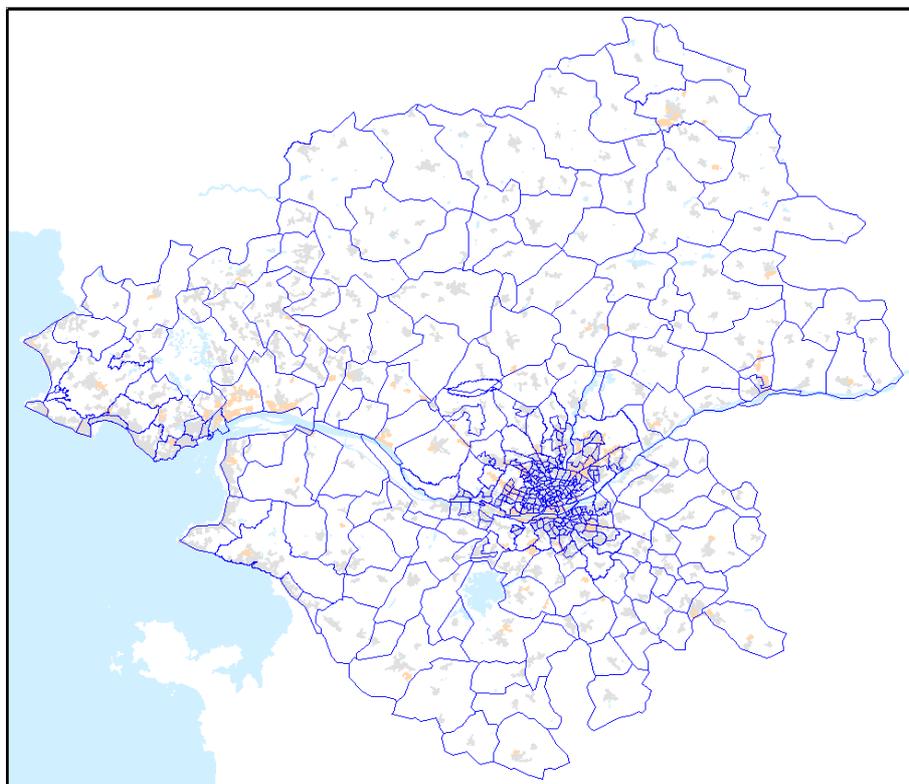
Annexe 5

MODELE SIM'OUEST – ZONAGE CANTONAL EN BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE

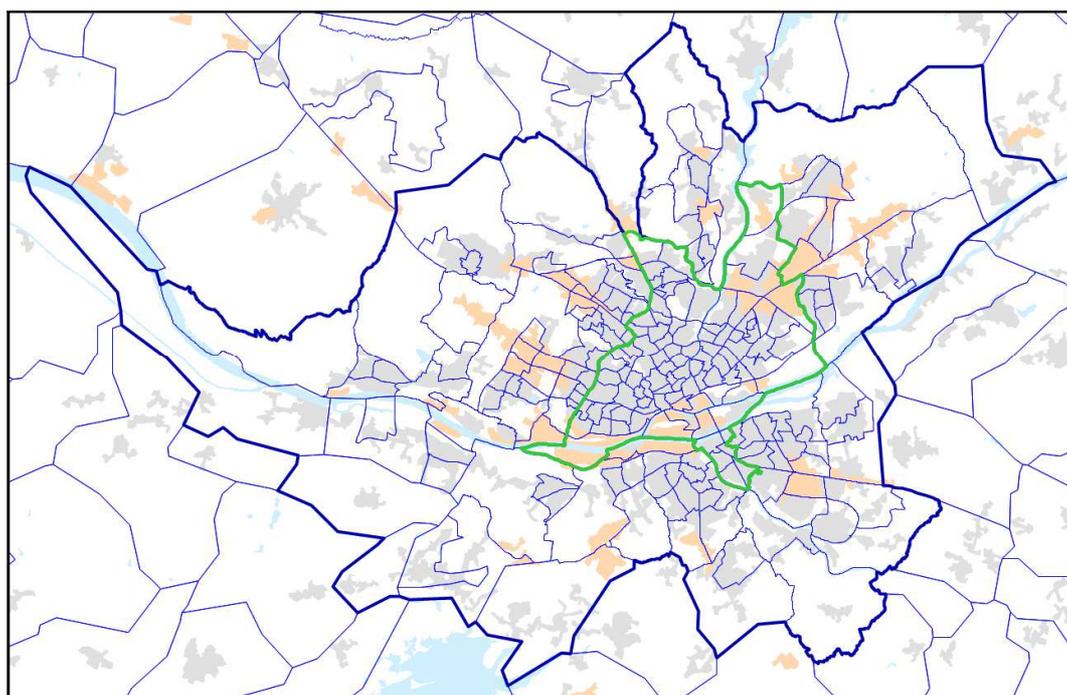


Annexe 6

MODELE SIM'44 – ZONAGE A L'IRIS ET A LA COMMUNE EN LOIRE-ATLANTIQUE

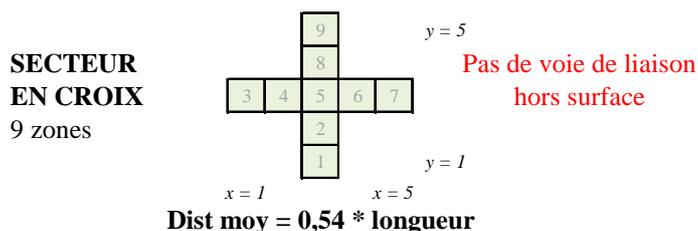
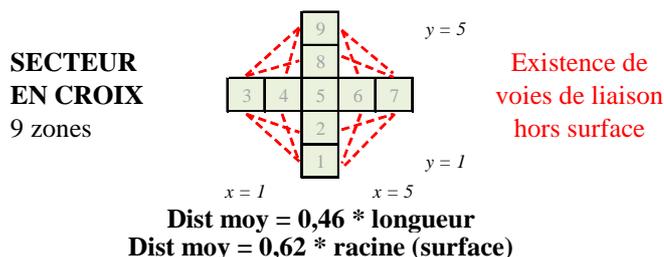
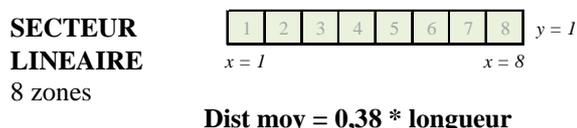
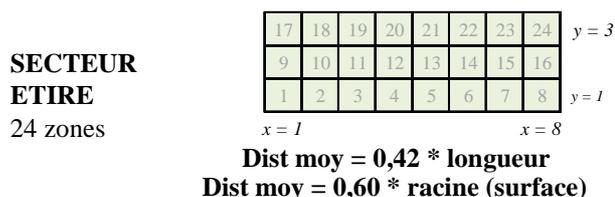
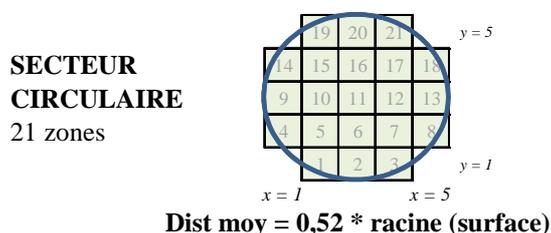
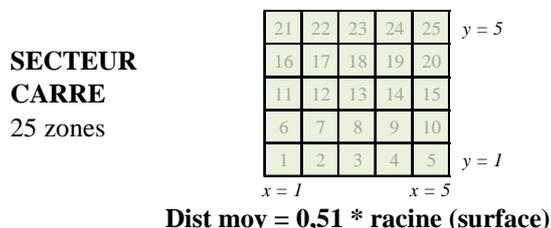


Zoom sur Nantes Métropole



Annexe 7

ESTIMATION DE LA DISTANCE MOYENNE PARCOURUE EN INTRAZONE (MODELE EVAL-PDU)



Annexe 8

ESTIMATION DES IMPEDANCES MOYENNES EN INTRAZONE (MODELES SIM'OUEST ET SIM'44)

Nous avons élaboré une méthode d'estimation de ces impédances décrite ci-après. Les explications pourront néanmoins sembler confuses, compte tenu des différentes configurations envisagées.

Dans Sim'44, les zones sont essentiellement constituées d'Iris (sur Nantes Métropole) et de communes entières.

Dans Sim'Ouest, les déplacements intrazonaux, c'est-à-dire intracantonaux, se composent des déplacements purement intracommunaux et des trajets effectués entre communes du canton. Dans nos analyses, nous avons donc distingué les cantons composés d'une seule commune des cantons en comportant plusieurs. Dans ces derniers, l'exploitation des enquêtes ménages et de l'ENTD montre que la part des déplacements intracommunaux est très largement prépondérante. En raisonnant sur les résultats d'EMD des deux régions Bretagne et Pays de la Loire, nous avons établi une série de relations linéaires assez satisfaisantes entre les distances moyennes parcourues dans ces deux types de déplacements et les racines carrées des superficies des territoires concernés (Iris, commune ou canton). Pour les trajets intracommunaux, contrairement à ce que l'on pourrait penser, le recours à la racine carrée de la surface urbanisée donne des résultats beaucoup moins probants.

Nous avons également distingué les principaux modes : marche d'une part, modes mécanisés d'autre part. Cette distinction est nécessaire pour estimer une impédance moyenne pondérée sous forme de temps généralisé, incluant la vitesse et les coûts, et non pas sous forme de la seule distance. Dans ce calcul, nous assimilons les modes mécanisés aux seuls VP. Par ailleurs, on observe que la marche est naturellement très peu représentée dans les déplacements intercommunaux au sein d'un même canton (de l'ordre de 2 % de part modale). Par conséquent, l'estimation des impédances correspondant à ce type de déplacements peut s'appuyer sur l'hypothèse d'un recours exclusif au mode VP, en l'absence de représentation des TCU.

Nous avons d'abord établi, selon les deux modes retenus (marche & VP), des formules permettant d'estimer les distances moyennes parcourues lors des déplacements effectués :

- en intra-Iris, en distinguant Nantes du reste de Nantes Métropole
- en intracommune, hors Nantes Métropole
- pour les cantons multicommunaux seuls, entre communes les constituant (VP seuls).

Ces formules ont été déterminées par régression linéaire à partir des déplacements observés dans des EMD des deux régions de Bretagne et des Pays de la Loire. Les coefficients R^2 ne sont pas très élevés mais suffisants dans le cadre de l'estimation des impédances, faute d'éléments supplémentaires aptes à mieux individualiser les estimations.

Dans les formules suivantes, la distance est exprimée en km, la surface en km². Il s'agit de la surface utilisée par l'INSEE pour calculer les densités de population.

1. Iris de Nantes

$$\text{Marche} \quad \text{Distance intra-Iris moyenne} = 0,300 * \sqrt{\text{Surface Iris}} + 0,100$$

$$\text{VP} \quad \text{Distance intra-Iris moyenne} = 0,840 * \sqrt{\text{Surf communale}} + 0,030$$

2. Iris de Nantes Métropole hors Nantes

$$\text{Marche} \quad \text{Distance intra-Iris moyenne} = 0,050 * \sqrt{\text{Surface Iris}} + 0,300$$

$$\text{VP} \quad \text{Distance intra-Iris moyenne} = 0,160 * \sqrt{\text{Surf communale}} + 0,700$$

3. Communes ou cantons à une seule commune

$$\text{Marche} \quad \text{Distance intracommunale moyenne} = 0,042 * \sqrt{\text{Surf communale}} + 0,350$$

$$\text{VP} \quad \text{Distance intracommunale moyenne} = 0,245 * \sqrt{\text{Surf communale}} + 0,300$$

Tous les déplacements intracantonaux sont également intracommunaux. L'échantillon étant assez faible pour cette catégorie de cantons, on adopte pour chacun des deux modes les mêmes paramètres que pour les déplacements intracommunaux.

4. Cantons multicommunaux

$$\text{VP} \quad \text{Distance intercommunale moyenne} = 0,710 * \sqrt{\text{Surf cantonale}} - 1,550$$

Afin d'aboutir à l'estimation d'une impédance intracantonale moyenne pondérée, nous avons ensuite établi les éléments suivants, relatifs aux poids relatifs des différents types de déplacements recensés :

		Déplacements intracommunaux	Déplacements intercommunaux intracantonaux
Cantons multicommunaux	Marche	27 %	négligeable
	Modes mécanisés	73 %	100 %
	Poids relatif des intracommunaux et des intracantonaux	74 %	26 %
Cantons à une seule commune	Marche	38 %	
	Modes mécanisés	62 %	

Pourcentages moyens calculés sur les déplacements internes aux cantons de Bretagne et Pays de la Loire

Les calculs s'enchaînent ensuite de la façon suivante :

- en intracommunal, calcul au niveau du canton et par mode d'une distance moyenne pondérée par les populations communales
- calcul d'une distance moyenne par mode par pondération selon les parts respectives des trajets intra et intercommunaux dans l'ensemble des intracantonaux
- calcul final d'un temps généralisé moyen tous modes par pondération des temps généralisés marche et VP selon les parts de chacun de ces modes dans l'ensemble des trajets intracantonaux.

Pour les principales agglomérations, un ajustement de la valeur ainsi obtenue s'avère cependant nécessaire.

Annexe 9

ETAPE DE DISTRIBUTION

MISE EN EVIDENCE DES ECARTS DE RECONSTITUTION DES MARGES SELON LA METHODE DE REDRESSEMENT

Exemple simple de 3 zones alignées



Matrice des distances intra et interzonales (km)

Distances	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Zone 1	2	10	40
Zone 2	10	2	30
Zone 3	40	30	3

Données socio-économiques

	Actifs	Emplois
Zone 1	200	100
Zone 2	100	300
Zone 3	700	600
Total	1000	1000

On applique une formule de distribution de type : $K_{ij} * \text{Emission}_i * \text{Attraction}_j * e^{-\alpha * \text{Distance}_{ij}}$

Quand $\alpha = 0,10$, la matrice brute obtenue avec les coefficients K_{ij} égaux à 1 est la suivante :

	Potentiels	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total
Zone 1	200	16 375	22 073	2 198	40 645
Zone 2	100	3 679	24 562	2 987	31 228
Zone 3	700	1 282	10 455	311 144	322 881
Total	1000	21 336	57 090	316 329	394 754

Redressement sur la somme des potentiels :

Le redressement de cette matrice sur la somme des potentiels avec un coefficient K unique donne le résultat suivant :

	Marges E et A	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total	Marge/potentiel
Zone 1	200	41.5	55.9	5.6	103.0	0.51
Zone 2	100	9.3	62.2	7.6	79.1	0.79
Zone 3	700	3.2	26.5	788.2	817.9	1.17
Total	1000	54.0	144.6	801.3	1 000.0	1.00
Marge/potentiel		0.54	0.48	1.34	1.00	

Par ce calcul, aucune zone ne bénéficie d'un rapport marge/potentiel proche de 1. Le redressement « favorise » la zone présentant les potentiels les plus forts (actifs et emplois).

Avec un coefficient α plus élevé ($\alpha = 0,20$), les distorsions sont encore plus marquées :

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total	
	Marges E et A	100	300	600	1000	Marge/potentiel
Zone 1	200	48.9	29.6	0.1	78.6	0.39
Zone 2	100	4.9	73.3	0.5	78.8	0.79
Zone 3	700	0.1	1.9	840.6	842.5	1.20
Total	1000	53.9	104.8	841.2	1 000.0	1.00
	Marge/potentiel	0.54	0.35	1.40	1.00	

Redressement sur les marges d'émission (avec $\alpha = 0,10$) :

Cette procédure est utilisée dans le logiciel Visem. Elle est fondée sur le respect des mobilités individuelles. Le premier déplacement des boucles quotidiennes se fait à partir du domicile : le nombre de déplacements initialement émis par chaque zone doit donc impérativement être égal au nombre de personnes s'étant déplacées.

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total	
	Marges E et A	100	300	600	1000	Marge/potentiel
Zone 1	200	80.6	108.6	10.8	200.0	1.00
Zone 2	100	11.8	78.7	9.6	100.0	1.00
Zone 3	700	2.8	22.7	674.6	700.0	1.00
Total	1000	95.1	209.9	694.9	1 000.0	1.00
	Marge/potentiel	0.95	0.70	1.16	1.00	

Redressement sur les marges d'attraction (avec $\alpha = 0,10$) :

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total	
	Marges E et A	100	300	600	1000	Marge/potentiel
Zone 1	200	76.7	116.0	4.2	196.9	0.98
Zone 2	100	17.2	129.1	5.7	152.0	1.52
Zone 3	700	6.0	54.9	590.2	651.1	0.93
Total	1000	100.0	300.0	600.0	1 000.0	1.00
	Marge/potentiel	1.00	1.00	1.00	1.00	

Dans ces deux derniers cas, les coefficients marge/potentiel ne semblent pas corrélés avec le niveau des potentiels. Les écarts entre marges et potentiels restent très importants.

Redressement par un algorithme de type Fratar sur les deux marges :

La matrice brute peut être redressée à la fois sur les marges d'émission et d'attraction ; c'est évidemment la méthode qui permet d'obtenir les coefficients marge/potentiel les plus proches de 1. On conserve ici $\alpha = 0,10$. La formule, appliquée OD par OD, divise chaque valeur par la racine carrée du produit des quotients marge/potentiel des ligne et colonne concernées. La procédure, assez puissante, est itérée jusqu'à l'obtention d'écarts admissibles (ci-dessous, au terme de 10 itérations).

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total	
	Marges E et A	100	300	600	1000	Marge/potentiel
Zone 1	200	78.0	124.0	3.0	205.0	1.03
Zone 2	100	11.0	88.0	3.0	102.0	1.02
Zone 3	700	9.0	82.0	602.0	693.0	0.99
Total	1000	98.0	294.0	608.0	1 000.0	1.00
	Marge/potentiel	0.98	0.98	1.01	1.00	

Il est intéressant de noter que le volume des flux intrazonaux est sensiblement différent selon le mode de redressement de la matrice :

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Total
Coefficient K unique	42	62	788	892
Redressement sur marges d'émission	81	79	675	835
Redressement sur marges d'attraction	77	129	590	796
<i>Moyenne des redressements émission attraction</i>	<i>79</i>	<i>104</i>	<i>633</i>	<i>816</i>
Redressement de type Fratar sur les deux marges	78	88	602	768
<i>Moyenne des quatre types de redressement</i>	<i>70</i>	<i>90</i>	<i>664</i>	<i>823</i>

Le redressement par un coefficient unique laisse une trop grande part à l'effet direct des impédances, sans intégrer de concurrence entre les différentes opportunités d'OD. Il est donc très peu réaliste.

De façon générale, le respect des marges d'attraction seules n'est pas à conseiller non plus puisque le volume généré obtenu ne sera pas nécessairement le bon.

Le redressement sur les deux marges semble évidemment la solution la plus satisfaisante lorsque ces deux marges doivent être respectées au plus près : c'est notamment le cas des déplacements domicile-travail, où, schématiquement, la marge d'émission correspond au nombre d'actifs et la marge d'attraction au nombre d'emplois.

En revanche, lorsque le potentiel de destination n'est qu'indicatif, la méthode de redressement sur les marges d'émission seules n'est pas à écarter ; c'est typiquement le cas des motifs domicile-achats, pour lesquels le potentiel d'attraction retenu, par exemple la surface commerciale, est certes lié au volume des déplacements concernés mais pas de façon proportionnelle, l'effet des impédances devant conserver un rôle assez important. Dans ce cas, l'alignement sur les marges d'émission permet de conserver le niveau de mobilité souhaité et reconstitue l'équivalent des zones de chalandise.

Annexe 10

POSTER POUR LE SEMINAIRE FINAL SERRES (MAI 2014)



MODELISATION DES DEPLACEMENTS ET DES TRAFICS
EVALUATION DES FLUX INTRACOMMUNAUX



Eric MORAU, Jacques BOUGNOL, Annie FRENEAU, Cerema/DterOuest/DVT/INT

Contexte : Les modèles dits « à 4 étapes » (génération, distribution, choix modal, affectation) sont notamment utilisés pour alimenter en données de trafic des modèles de consommation de carburant, d'émission de polluants et de GES.

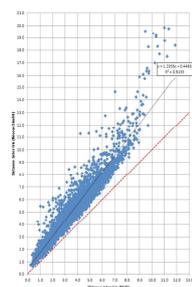
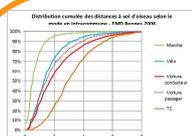
Toutefois, deux types de trajets sont absents des résultats de ces modèles :

- les trajets entièrement intrazonaux
- les parties terminales des trajets interzonaux.



Objectif : L'objectif est d'analyser les facteurs permettant d'estimer les caractéristiques des déplacements intracommunaux effectués par le mode routier : volumes produits, distances parcourues

Estimation des distances routières réelles intracommunales



Exploitation notamment de l'Enquête Ménages Déplacements de Rennes 2008 dont les lieux d'origine et de destination sont localisés dans des mailles de 100m de côté :

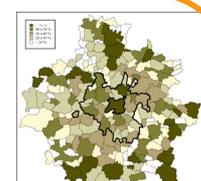
- analyse des distances à vol d'oiseau intracommunales (DVO)
- calcul de la part des trajets routiers intracommunaux observés

Recherche de facteurs permettant de reconstituer les DVO observées, à partir de différentes bases de données géographiques et démographiques. In fine :

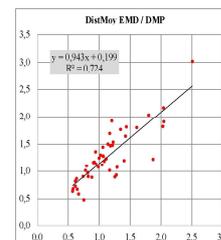
- la base de données carroyées de l'INSEE est la plus pertinente ;
- on retient comme facteur la distance moyenne pondérée (DMP) séparant chaque maille du barycentre démographique de la commune, cette dernière étant la mieux corrélée avec la DVO observée
- on calcule la DVO théorique (DVOth) à partir de la clé de passage $DVOth = (DMP - 0,200) / 0,943$

Recherche d'une formule reliant la DVOth et les distances réelles parcourues sur le réseau routier (DRR) à partir d'exploitations du modèle Sim'44.

En milieu urbain : $DRR = 1,380 * DVOth + 0,230$ (en km)



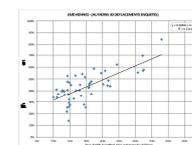
Part des trajets routiers intracommunaux EMD Rennes



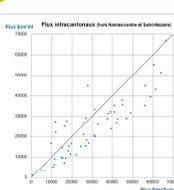
Estimation des volumes de trajets routiers intracommunaux

Recherche d'une formule permettant d'estimer le volume de trajets de véhicules intracommunaux à partir de déterminants disponibles (emplois, superficie, migrations alternantes,...).

Par exemple, le graphique ci-contre représente la relation entre le taux de stables communaux (part d'actifs travaillant dans leur commune) et le taux de trajets intracommunaux observés dans l'EMD de Rennes



De la difficulté d'apprécier les volumes de trajets intrazonaux à partir d'un modèle gravitaire



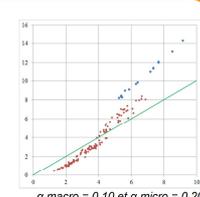
Ces graphiques représentent en abscisse les flux d'un modèle macro et en ordonnée les flux du sous-modèle micro associé, agrégés selon le zonage macro :

- à gauche selon les modèles opérationnels Sim'Ouest et Sim'44
- à droite selon une approche théorique

➔ On observe que les flux ne sont pas compatibles.

Les écarts proviennent notamment du paramétrage des algorithmes gravitaires de chacun des modèles :

- choix des coefficients d'impédance α
- modalités de calcul des impédances intrazonales



Annexe 11

BIBLIOGRAPHIE

Les trajets intrazonaux sont assez souvent cités dans les ouvrages relatifs à la modélisation des déplacements. Cependant, ils ne sont évoqués en général que dans les étapes de génération et de distribution et négligés dans la suite des procédures.

Leur importance dans la fiabilité de l'estimation des flux interzonaux n'est que rarement soulignée.

On peut toutefois citer le rapport d'étude suivant, dans lequel un effort particulier d'estimation des flux intrazonaux a été consenti :

« Modélisation multimodale des déplacements sur le territoire de l'aire urbaine toulonnaise »
Etude de trafic
SETEC International – Mai 2006

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.*

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ouest : MAN – 9 rue Viviani – BP 46223 – 44262 Nantes cedex – Tél : +33(0)2 40 12 83 01

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public : Siret 130 018 310 00 222 www.cerema.fr