

Projet de Fin d'Études

Les déplacements des périurbains dictés par l'organisation des territoires

**Elaboration d'un outil de calcul des émissions
de CO₂**



2012-2013

**Directeur de recherche
FEILDEL Benoît**

HOUEIX Adrien

**Les déplacements des périurbains
dictés par l'organisation
des territoires**

**Elaboration d'un outil de calcul des émissions
de CO₂**

HOUEIX Adrien

2012-2013

**Directeur de recherche:
FEILDEL Benoît**

Avertissement

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

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche et projet de fin d'études

EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

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

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

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

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

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

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

Remerciements

En préambule à ce rapport, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de celui-ci.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur Feidel, qui, en tant que Directeur de recherche, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce PFE, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce présent n'aurait jamais vu le jour.

Sommaire

Sommaire	5
Introduction.....	7
Partie 1 : Qu'est ce que le périurbain ?	8
I. L'émergence d'une nouvelle organisation des territoires	8
❖ Une organisation spécifique de l'espace autour des villes	8
❖ Une organisation orientée par les politiques publiques	10
II. Le périurbain : entre choix de vie et contrainte	12
❖ La volonté de devenir propriétaire.....	12
❖ ... dictée par le prix du foncier	12
III. La mobilité dans le périurbain	14
❖ Une politique reposant sur l'automobile	14
❖ Un mode de déplacement devenu incontournable	14
❖ Un mode de vie dicté par l'utilisation de la voiture	15
IV. Le périurbain aujourd'hui, une remise en question ?	16
❖ Une évolution de la mobilité	16
❖ Un périurbain sujet à controverse.....	18
V. Formulation de la problématique.....	19
❖ Problématique	19
❖ Hypothèses	19
Partie 2 : Calcul des émissions GES dans le périurbain tourangeau dues à la mobilité.....	21
I. Les méthodes existantes : explications et limites	21
❖ Une méthode macroscopique	22
❖ Une méthode par situation de trafic.....	24
❖ Un outil à mi-chemin entre macroscopique et instantané	25
II. La création d'un outil spécifique	27
❖ PériVia.....	27
❖ Explication de la méthode utilisée	29
❖ Présentation de l'échantillon étudié	37

Partie 3 : Exploitation des résultats	39
I. Traitement informatique des données	39
II. Intérêt d'un calcul instantané des émissions	40
III. La réalité des déplacements et des émissions de CO ₂ par rapport à l'éloignement de Tours.....	46
Conclusion	51
Bibliographie	52
Table des matières.....	54
Table des figures.....	56

Introduction

Né dans les années 1960, l'espace périurbain n'appartient ni à la ville, ni à la campagne. Fortement identifiable avec son urbanisation lâche, il est pourtant difficile aujourd'hui d'en identifier clairement les frontières. Une chose est sûre, c'est qu'il tient une place prépondérante dans l'organisation des territoires et qu'il est sujet à controverses. En effet, si cet espace correspond à un idéal de localisation pour beaucoup, il est également décrié pour être synonyme d'espace anti-durable. Il consomme des espaces naturels, augmente la consommation d'énergie à cause de l'utilisation importante de la voiture et la multiplication de l'habitat diffus contrairement à l'urbain où les transports en commun et l'habitat dense reste prédominant. Si l'efficacité énergétique du bâti peut être évaluée lors de diagnostics énergétiques (lors d'une vente d'un bien immobilier par exemple), l'évaluation des émissions de polluant par les ménages périurbains lors de leurs déplacements reste plus délicate.

C'est dans cette perspective de quantifications des émissions de polluants routiers que prend part notre PFE. Nous allons tenter de quantifier ces émissions afin de pouvoir étudier réellement l'impact environnemental des ménages périurbains au niveau des déplacements.

Dans un premier temps nous intéresseront aux différentes notions et caractéristiques qui définissent le périurbain dans sa globalité et plus particulièrement au niveau des déplacements dans celui-ci. Puis nous présenterons la méthodologie que nous appliquerons pour quantifier les émissions des différents polluants. Enfin, la dernière partie sera consacrée à la présentation des résultats obtenus et aux enseignements que nous pouvons en tirer.

Partie 1 : Qu'est ce que le périurbain ?

Avant toute réflexion, il semble important de s'intéresser au sens du mot périurbain mais aussi à quelle réalité spatiale, sociologique il renvoie, quelle réalité il décrit. Dans le dictionnaire de l'aménagement et de l'urbanisme, le périurbain est qualifié comme l'urbanisation périphérique des agglomérations urbaines, c'est-à-dire l'urbanisation autour des villes (Choay et Merlin, 2010). Dans le dictionnaire de géographie, il est défini comme une aire polarisée par des migrations pendulaires ou un espace où prédomine l'habitat pavillonnaire (Levy et Lussault, 2003). Nous pouvons donc voir que plusieurs définitions peuvent être possibles selon le point de vue dans lequel on se place.

Nous allons maintenant nous intéresser à l'origine de ce terme plus globalement, mais aussi ce qui a favorisé son développement et ce qu'il en est aujourd'hui.

I. L'émergence d'une nouvelle organisation des territoires

Sur le plan spatial, la notion de périurbanisation a vu le jour en lien avec le développement de la voiture individuelle car elle l'a favorisé. Cette dernière a commencé à se répandre vers 1960. Elle a permis une déconnexion plus globale entre le lieu de travail et le lieu de l'emploi (Piron, 2004) et un éloignement des centres urbains.

❖ Une organisation spécifique de l'espace autour des villes

Cette périurbanisation avec la banalisation de l'automobile et par des ménages assez jeunes avec enfants, s'est poursuivie par une suite de déferlements de vagues de formation de couronnes périurbaines successives autour des agglomérations françaises. En effet, entre 1962 et 1982, les banlieues des pôles urbains se densifient, connaissant une croissance démographique importante.

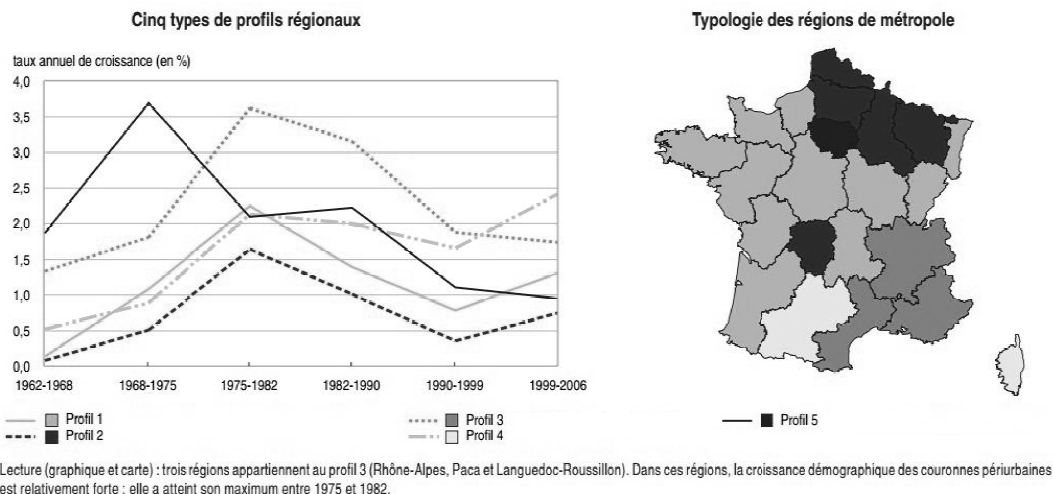


Figure 1 : Evolution démographiques des espaces périurbains entre 1962 et 2006 (Source : Insee, recensement de la population)

Ces différentes couronnes ont des organisations différentes tant spatialement que dans leurs spécificité et notamment les modes de vie qu'elles engendrent (Cailly, 2008).

Spatialement, on retrouve tout d'abord le centre ville, qui, par sa densité, offre la possibilité d'effectuer la plupart des activités dans un périmètre retreint, et encore plus si le lieu de travail s'y trouve également.

Le péricentre, lui, se caractérise par sa proximité avec le centre ville et est donc toujours qualifié de ville dense. Il est généralement constitué de maisons de ville. Il bénéficie des avantages du centre ville tout en étant un peu en retrait et donc plus calme.

Vient ensuite la banlieue. On peut réellement parler de première couronne. Elle est continûment urbanisée et très bien dotée en équipements, en emplois et en services. Elle présente donc une certaine urbanité (Thibault, 1999). Mais, contrairement au centre ville, les densités y sont faibles et les espaces y restent assez spécialisés, en raison de la prédominance de l'habitat pavillonnaire et des zones d'activités.

Enfin, nous retrouvons le périurbain. Il peut être scindé en deux avec le périurbain proche et le périurbain lointain, mais le périurbain peut être décrit de manière générale comme une mosaïque de villages, formant une sorte de couronne urbanisée à la périphérie des agglomérations, caractérisée par un paysage de type rural (Cadène¹, 2005).

¹ Philippe Cadène est professeur en géographie du développement à l'Université Paris VII

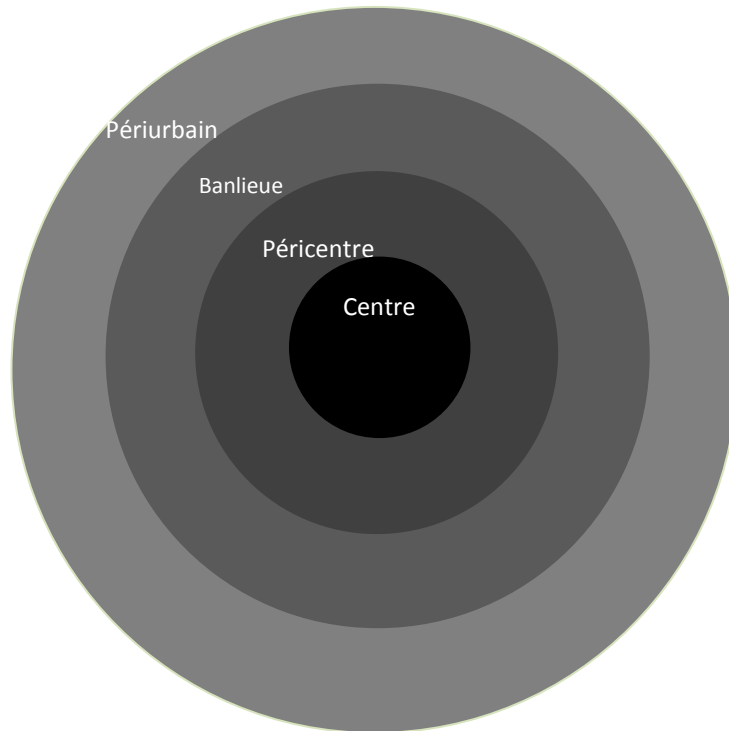


Figure 2 : Schéma d'organisation des territoires

❖ Une organisation orientée par les politiques publiques

Nous pouvons voir qu'aujourd'hui l'espace autour des villes est organisé en plusieurs couronnes qui ont chacune leurs spécificités. Mais avant que ce type d'organisation ne voit le jour, seulement deux espaces pouvaient être observés. Les espaces urbains et les espaces ruraux. Nous avons pu voir que l'essor de la voiture individuelle semblait être le responsable de cette évolution mais ce n'est pas l'unique raison. Les politiques mises en place par le gouvernement y sont également pour quelque chose.

En effet, un phénomène de cette ampleur, la périurbanisation, n'a pu se faire qu'au point de rencontre de multiples politiques, et notamment celles liées à l'habitat (Piron, 2004).

Depuis 1960, de nombreuses politiques d'aide de l'Etat ont vu le jour. Parmi elles, on peut citer l'aide à la pierre qui est l'ensemble des aides accordées par l'Etat et qui sont destinées à favoriser l'investissement immobilier sous forme de prêts aidés ou de primes. On retrouve, entre autres, le prêt aidé d'accession à la propriété (PAP) créé en 1977 et qui a été mis en place afin de permettre aux ménages modestes, dont les revenus ne dépassaient pas certains plafonds,

d'accéder à la propriété. Ces derniers ont bénéficié, pour financer la construction d'un logement neuf ou l'acquisition et l'amélioration d'un logement ancien, d'un prêt dont le taux d'intérêt est abaissé par rapport au taux de marché par une bonification, financée par l'État. Il a été remplacé en 1995 par le prêt à taux zéro (PTZ) dont la mission initiale consistait à relancer la construction de logements neufs dans un marché déprimé. Cette aide est accessible aux ménages dont les revenus sont inférieurs à des plafonds de ressources qui dépendent de la taille de la famille et de la zone géographique d'acquisition. Cette aide prend la forme d'avance remboursable sans intérêt.

En plus de l'aide à la pierre, on peut également citer l'aide à la personne représentée par l'aide personnalisée au logement (APL). Elle a permis aux ménages à revenus moyens voire faibles d'accéder à la propriété pour un effort à peine supérieur à celui d'un loyer.

Enfin, un autre élément qui va dans ce sens est la fiscalité des carburants. Celle du diesel, plus intéressante que celle de l'essence, permet de maintenir le coût des dépenses automobiles malgré l'augmentation des distances parcourues.

Nous voyons bien qu'avec ces différentes mesures prises par l'Etat, ce dernier, en encourageant l'accession à la maison individuelle, a favorisé le développement ce que l'on nomme le périurbain.

Nous avons pu voir dans cette partie que le périurbain est une notion apparue dans les années 1960 avec la banalisation de l'automobile mais aussi et surtout avec l'aide de nombreuses politiques mises en place par le gouvernement. Cet espace se caractérise par son organisation.

« Le développement de la périurbanisation depuis 30 ans doit être considéré comme le succès de nombreuses politiques publiques »

II. Le périurbain : entre choix de vie et contrainte

Nous avons pu voir précédemment que le périurbain est un espace à part entière. Nous allons maintenant voir si le fait de s'installer dans le périurbain est réellement une volonté des ménages ou si d'autres facteurs entrent en jeu. Cela va nous permettre de tenter d'expliquer la raison de ce développement du périurbain.

❖ La volonté de devenir propriétaire...

Dans un premier temps, on peut voir le périurbain comme une opportunité de devenir propriétaire.

C'est souvent avec l'arrivée ou le désir d'un deuxième enfant que la solution périurbaine commence à être envisagée par un ménage. Il voit dans la maison individuelle la possibilité d'avoir son chez soi, dans un cadre de vie agréable, plus vert, loin de la ville et avec son jardin privatif. Et la possibilité s'offre à ces ménages, dans le périurbain, grâce notamment aux nombreuses aides mises en place par l'Etat, le développement de l'automobile, des infrastructures routières...

De plus, le fait de posséder son propre pavillon élimine les problèmes de copropriété comme l'entretien des parties communes, les bruits de voisinage... qui peuvent survenir dans le cas d'un appartement. Et l'acquisition d'un bien immobilier est synonyme de l'acquisition d'une nouvelle identité sociale.

Enfin, la possibilité de construire son pavillon permet d'envisager une plus value lors d'une future revente et cela est un argument très important. En revendant son bien quelques années plus tard, la taille du logement pourra ainsi évoluer en même temps que celle du ménage.

❖ ... dictée par le prix du foncier

Mais si le fait d'habiter le périurbain peut être un choix totalement délibéré, dans certains cas il se peut également que ce ne soit pas le cas et que cela se fasse sous la contrainte.

La volonté d'accéder à une maison individuelle « à la campagne » reste le désir de bon nombre de ménages français et celui-ci s'avère encore plus prégnant pour des ménages souhaitant sortir d'un logement collectif en HLM, dans lequel ils n'arrivent pas à se réaliser (Rougé, 2007). Pour y arriver, ces ménages ne

disposent pas de ressources financières très importantes. Ils sont donc très dépendants du prix du foncier. Plus on s'éloigne de la ville, plus le prix du foncier, et de l'immobilier en général, est accessible. Il en va de même pour les taxes qui sont moins importantes qu'en ville. Ainsi peu de ménages aux revenus modestes choisissent réellement leur commune d'installation. Ils sont surtout conditionnés par le prix du foncier qu'ils ont pu y trouver.

On va donc pouvoir observer une répartition de la population dans le périurbain en rapport avec les moyens de chacun : les ménages les plus aisés dans le périurbain proche et les ménages les plus modestes dans le périurbain lointain.

Le périurbain peut être vu comme l'opportunité d'accéder à la propriété avec l'image du pavillon à la campagne, ce qui est le rêve de la plupart des français. Mais il peut également être une obligation financière dictée par les prix du foncier moins élevés dans le périurbain qu'en proximité des agglomérations.

III. La mobilité dans le périurbain

Cette controverse entre choix et contrainte d'habiter dans le périurbain nous amène directement vers un des facteurs, parfois pris en compte, de ce choix : la mobilité. Elle est définie comme la propension d'une population à se déplacer (Choay, Merlin, 2010). Elle est directement liée avec les différents modes de transport et plus particulièrement le véhicule individuel. Nous verrons ici comment l'automobile fut un tournant et accéléra le développement des espaces périurbains puis comment, à travers la mobilité quotidienne, elle participe à la réalisation de l'habiter.

❖ Une politique reposant sur l'automobile

Nous avons pu voir que la périurbanisation a vu le jour dans les années 1960 en même temps que l'essor de l'automobile mais surtout grâce, ou à cause, de celle-ci.

En effet, avant la banalisation de la voiture, les politiques, devant répondre de façon urgente au relogement, optent pour des solutions fonctionnelles offrant une accessibilité économique ainsi que des objectifs esthétiques et sociaux très corrects. Mais avec l'apogée des Trente Glorieuses (1965-1970) et l'élévation du niveau de vie, les conditions ont pu être réunies par la population désireuse de réaliser son rêve pavillonnaire. L'automobile, en parallèle avec le développement du réseau routier, fut l'unique outil à la disposition des ménages pour sortir de la ville et réaliser ce rêve. L'automobile est le seul moyen de transport autorisant une diffusion quasiment intégrale de l'habitat (Dézert, Metton, Steinberg, 1991). Cet ensemble de progrès préside à l'élargissement des zones viabilisables en vue de l'urbanisation. Dès lors, la politique de l'habitat va évoluer avec les différentes mesures présentées précédemment.

❖ Un mode de déplacement devenu incontournable

Avec les conditions économiques favorables que nous avons pu voir ci-dessus, la mobilité des ménages n'a cessé d'augmenter et cela pour deux groupes de populations majoritairement : les femmes et les personnes âgées.

Ensuite, on peut noter une diversification des motifs de déplacement. L'utilisation de la voiture individuelle ne se fait plus uniquement pour les trajets domicile-travail mais aussi pour les loisirs (culturels, sportifs...) ou encore pour tout ce qui concerne les besoins de l'enfant (école par exemple).

Enfin, l'accèsion à la propriété se solde dans la plupart des cas par un éloignement entre le domicile et le lieu de travail. Mais dans ces espaces, du fait de leur morphologie diffuse et peu dense, l'offre de transports en communs (train, bus...) est moins développée que dans les espaces plus denses. Ainsi, à cause de la faible desserte de ces espaces par les transports collectifs, l'automobile est le seul moyen de transport autorisant une diffusion quasiment intégrale de l'habitat (Dézert, Metton, Steinberg, 1991).

❖ **Un mode de vie dicté par l'utilisation de la voiture**

Comme nous avons pu le voir, l'organisation autour des villes se fait en plusieurs couronnes. Ces couronnes, en plus d'être définies par leur organisation spatiales, présentent des modes de vie différents en lien avec la mobilité.

Si on reprend les différentes couronnes, on observe que les habitants du centre ville et du péricentre peuvent profiter de la grande diversité de transports en communs disponible dans ces espaces. Ils ont la possibilité d'utiliser leur véhicule personnel uniquement pour certaines activités en périphérie pour lesquelles celui-ci est plus approprié (pour aller dans un hypermarché par exemple). La banlieue se situe à mi-chemin entre la ville et le périurbain. Les ménages qui y habitent ont une forte mobilité mais la longueur de leur déplacement est moins importante que celle des périurbains. Enfin, les périurbains ont une très forte dépendance à l'automobile. De ce fait, on peut observer qu'ils se déplacent de moins en moins en dehors de leur travail.

Les périurbains vont-ils avoir tendance à optimiser leurs déplacements ?

Ici nous avons pu mettre en évidence une caractéristique essentielle du mode de vie périurbain : la mobilité. Le développement de cet espace a été fortement dicté par celui de l'automobile au point que cette dernière est devenue incontournable notamment pour les déplacements domicile-travail. Les habitudes se sont donc mises en place autour de ce moyen de transport au point d'en devenir un mode de vie à part entière.

IV. Le périurbain aujourd'hui, une remise en question ?

Aujourd'hui, l'INSEE donne une définition précise des communes périurbaines. Ce sont les communes qui n'appartiennent pas à une agglomération (au sens de la continuité du bâti) et qui envoient au moins 40% de leurs résidents actifs travailler dans une aire urbaine. Cette dernière est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain de plus de 10 000 emplois.

Cette définition met uniquement en avant la composante déplacement domicile-travail, ce qui ne nous convient pas totalement car nous avons pu voir que le périurbain est un espace à part entière et la mobilité regroupe l'ensemble des motifs de déplacement. C'est pourquoi, les définitions « aire polarisée par des migrations pendulaires ou un espace où prédomine l'habitat pavillonnaire » (Levy, Lussault, 2003) ou « le périurbain peut être qualifié par l'urbanisation périphérique des agglomérations urbaines, c'est-à-dire l'urbanisation autour des villes » (Choay, Merlin, 2010) semblent mieux convenir.

❖ Une évolution de la mobilité

Si aujourd'hui on peut observer des déplacements moins importants (en nombre) de la population périurbaine par rapport aux débuts de l'automobile pendant les Trente Glorieuses cela vient du fait que la situation économique a changée. Aujourd'hui, les coûts liés à l'automobile ont beaucoup augmentés. En effet, d'après l'INSEE, en 1960, les ménages consacraient 10,6% de leur budget aux transports alors qu'en 2004, ce poste de dépense représentait 16,2% du budget. Cela s'explique en partie par l'augmentation des prix des carburants.

Cette augmentation a pour conséquence une baisse des déplacements des ménages résidant dans le périurbain d'autant plus que beaucoup de ces ménages disposent de revenus modestes. En effet, beaucoup de ménages à revenus moyens se sont installées en périphérie rurale des villes dans les années 1960 pour accéder à la propriété. Et cela a donc une répercussion sur le mode de vie de ces ménages. Par rapport à la population urbaine, on peut observer une structure des déplacements différente.

Ces déplacements, s'ils sont moins nombreux, ne sont pas forcément moins longs. Ils sont majoritairement orchestrés par le trajet domicile-travail (Bailleul, Feildel, Martouzet, 2010) autours duquel sont organisés la plupart des autres déplacements. Les périurbains tendent à organiser leurs parcours quotidiens en boucle, en circuit, à partir de leur lieu de résidence qui constitue en quelque

sorte un point de départ et un terminus. Cette structure s'oppose aux parcours majoritairement en étoile des habitants du centre pour lesquels le domicile constitue une « base » que l'on quitte et que l'on rejoint plusieurs fois dans la journée (Cailly, 2008). Les périurbains cherchent à optimiser au mieux leurs déplacements afin d'économiser du temps, de l'argent et de la fatigue. Par exemple, un périurbain fera ses courses dans un supermarché qui sera sur son trajet travail-domicile alors qu'un urbain aura plutôt tendance à rentrer chez lui puis ressortir faire ses courses. Il peut en être de même pour la gestion des enfants, les loisirs, les rendez vous médicaux...

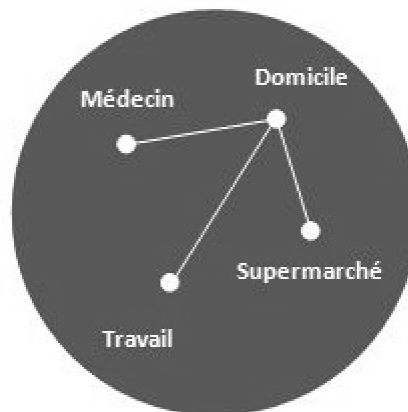


Figure 3 : Structure des déplacements d'un urbain

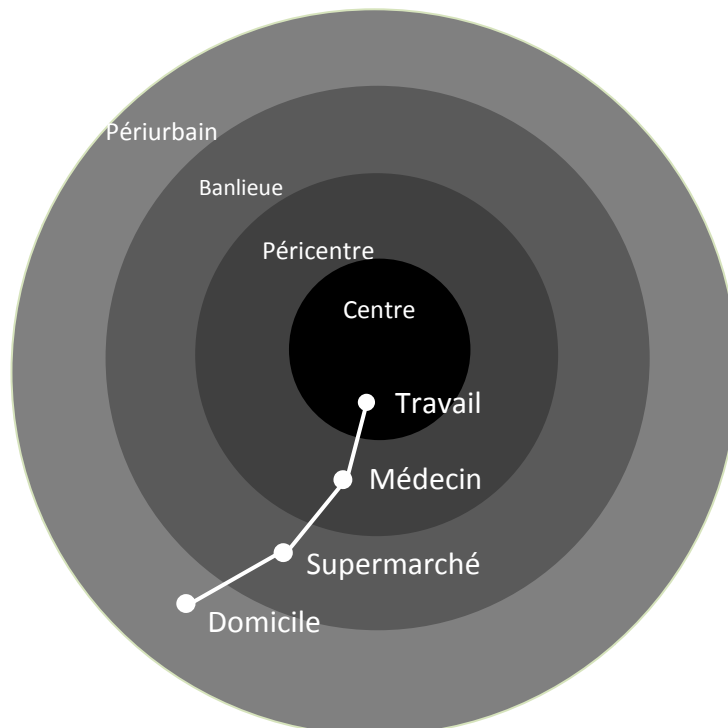


Figure 4 : Structure des déplacements d'un périurbain

❖ Un périurbain sujet à controverse

Le périurbain est depuis longtemps l'objet de nombreuses critiques dans le champ scientifique. Celles-ci se sont amplifiées mais ont surtout atteint le champ de la politique où le périurbain est passé d'espace impensé à mal aimé. « La loi SRU a ajouté à la critique urbanistique ou architecturale classique d'autres niveaux d'argumentation, stigmatisant un peu plus "l'étalement urbain" : il ne répondrait pas à la nécessité d'un développement durable de la ville parce qu'il ne serait pas un mode d'urbanisation économe des "ressources" » (JAILLET, 2004).

Nous pouvons voir que le périurbain peut parfois être perçu comme quelque chose d'anti-durable dans le sens qu'il n'est pas sans conséquences pour les générations futures. Et ce pour plusieurs raisons.

Tout d'abord d'un point de vue de l'habitat. En effet l'habitat diffus, caractéristique de ces espaces périurbains (prédominance de l'habitat pavillonnaire), ne favorise pas les économies. En effet, les maisons individuelles consomment de 10 à 15 % d'énergie de chauffage en plus que les logements en immeuble collectif quelque soit le mode de chauffage (RAUX, TRAISNEL, 2007)

On peut également ajouter comme facteur de pollution, les émissions de gaz à effet de serre produites par les transports car les distances domicile-travail sont plus importantes au même titre que les distances des déplacements pour les loisirs par exemple. C'est sur ce dernier facteur que nous allons travailler et voir si les périurbains émettent plus de CO₂ que les urbains, ce qui semblerait paraître logique au vu de leur éloignement avec la ville.

En conclusion, nous pouvons dire que la mobilité des périurbains à évoluée au cours du temps notamment à cause des changements économiques.

Aujourd'hui le mode de vie périurbain est aussi sujet à controverse car il est souvent pointé du doigt lorsqu'on parle de durabilité des territoires. Un des points tant décriés et celui des émissions de polluants, c'est ce sur quoi notre travail sera basé.

V. Formulation de la problématique

❖ Problématique

Nous avons pu voir dans les parties précédentes que le mode de vie périurbain peut être assimilé à un comportement non soucieux de l'environnement par le fait qu'il fait intervenir la voiture personnelle dans la plupart des déplacements effectués par cette population périurbaine. De par cette utilisation intensive de la voiture, les émissions de CO₂ dues à ces déplacements devrait logiquement être plus importantes que celles engendrées par les urbains.

A partir de l'exemple Tourangeau, nous allons tenter de répondre à cette question :

Une organisation différente de l'espace, comme dans le périurbain, entraîne-t-elle une différence au niveau des émissions de CO₂ dues à la mobilité ?

❖ Hypothèses

Compte tenu de notre problématique, notre travail sera orienté de telle façon que nous allons pouvoir émettre deux hypothèses.

La première, pourra être qualifiée de méthodologique. En effet, nous allons partir du postulat qu'une mesure plus fine des émissions de CO₂ donnera un résultat différent par rapport à une mesure plus « macroscopique » et sera plus sensible aux comportements lors de la conduite. Pour cela une mesure instantanée des émissions sera nécessaire. De plus, cette méthode, permettra de correspondre un peu plus à la réalité, notamment dans l'urbain où la multiplication de petits déplacements est fréquente.

La seconde, pourra être qualifiée d'hypothèse morphologique. Les différents schémas de mobilités sont dus aux différents schémas d'organisation de l'espace. En effet, les différences entre les infrastructures ainsi que les offres de transport dans l'urbain et dans le périurbain ne sont pas les mêmes. Les différences d'émissions sont donc dues à l'organisation des territoires.

Notre terrain d'étude sera le territoire tourangeau. A l'aide des données GPS, enregistrées dans des tableaux Excel, fournies par le projet PériVia², nous tenterons d'apporter une réponse à notre problématique.

Dans un premier temps, une recherche sur les différentes méthodes de calcul des émissions de polluants routiers nous a permis d'avoir une première vision d'ensemble des différentes méthodes déjà existantes pour, par la suite, pouvoir en adapter une à notre cas d'étude ou en proposer une nouvelle.

² PériVia est un projet de recherche mené par différents chercheurs et qui s'intéresse principalement à la « viabilité périurbaine entre théorie(s) et pratique(s) »

Partie 2 : Calcul des émissions GES dans le périurbain tourangeau dues à la mobilité

I. Les méthodes existantes : explications et limites

Depuis un peu plus de vingt ans, la modélisation des polluants routiers est une préoccupation importante de l'Union Européenne. Plusieurs études et travaux de recherche ont été effectués, plus ou moins imbriqués les uns avec les autres. Ils ont permis de définir des éléments méthodologiques ainsi que recenser les données nécessaires au calcul de ces émissions. De ces études ont découlés plusieurs logiciels.

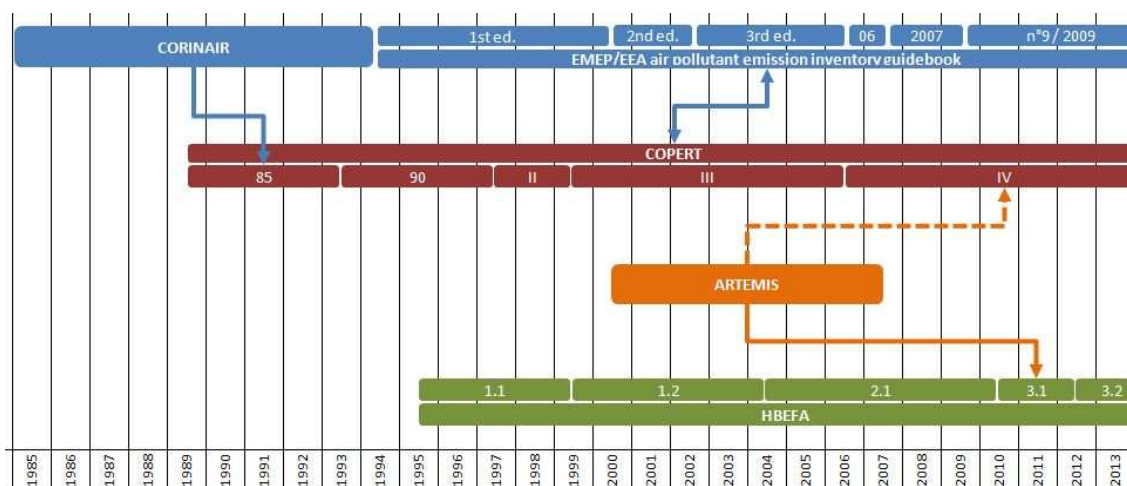


Figure 5 : Projets de recherche et outils européens

De ces projets de recherche européens, sont issus deux outils principaux. Le logiciel COPERT qui est en étroite relation avec l'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook dont la dernière version date de 2009 et le logiciel HBEFA qui utilise les algorithmes établis par ARTEMIS (projet de recherche achevé en 2007).

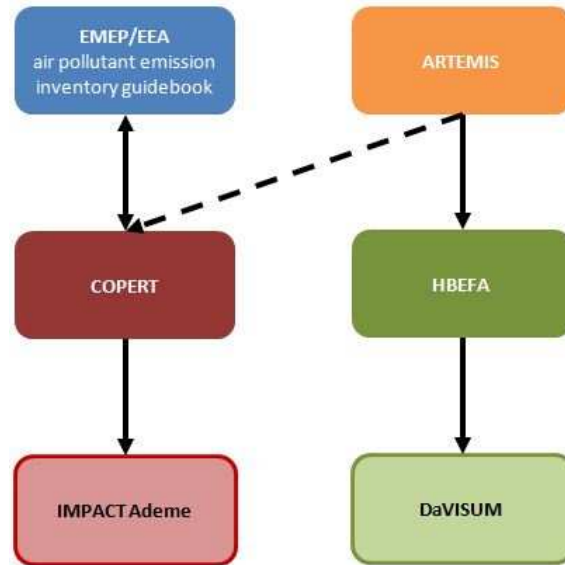


Figure 6 : COPERT et HBEFA

Ce graphique met en évidence les liens entre les différents projets de recherche et logiciels. Nous pouvons voir que le projet ARTEMIS enrichi également le logiciel COPERT. D'autres outils dérivent de COPERT et HBEFA tels que l'Impact de l'ADEME et le module environnemental de DaVISUM

❖ Une méthode macroscopique

Le projet INventory of AIR émissions in Europe (CORINAIR) a été initialement développé dans le cadre du programme CORINE lancé par la Commission des Communautés Européennes en 1985.

Dans le cadre de CORINAIR des inventaires des polluants atmosphériques ont été réalisés.

L'un des plus grands apports du projet CORINAIR est une méthodologie de référence reprise à partir de 1994 par l'agence européenne de l'environnement : EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Ce guide est une référence pour l'inventaire des polluants atmosphériques. Il a complètement hérité des travaux de CORINAIR. Il fournit une méthodologie pour estimer les émissions de polluants atmosphériques de source anthropogénique et naturelle.

De ce projet de recherche est né un logiciel : Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport (COPERT). C'est un logiciel visant au calcul de polluants atmosphériques des émissions dues au transport routier.

Il peut être utilisé comme logiciel en tant que tel ou sous la forme d'algorithmes intégrés dans d'autres logiciels comme Impact ADEME par exemple.

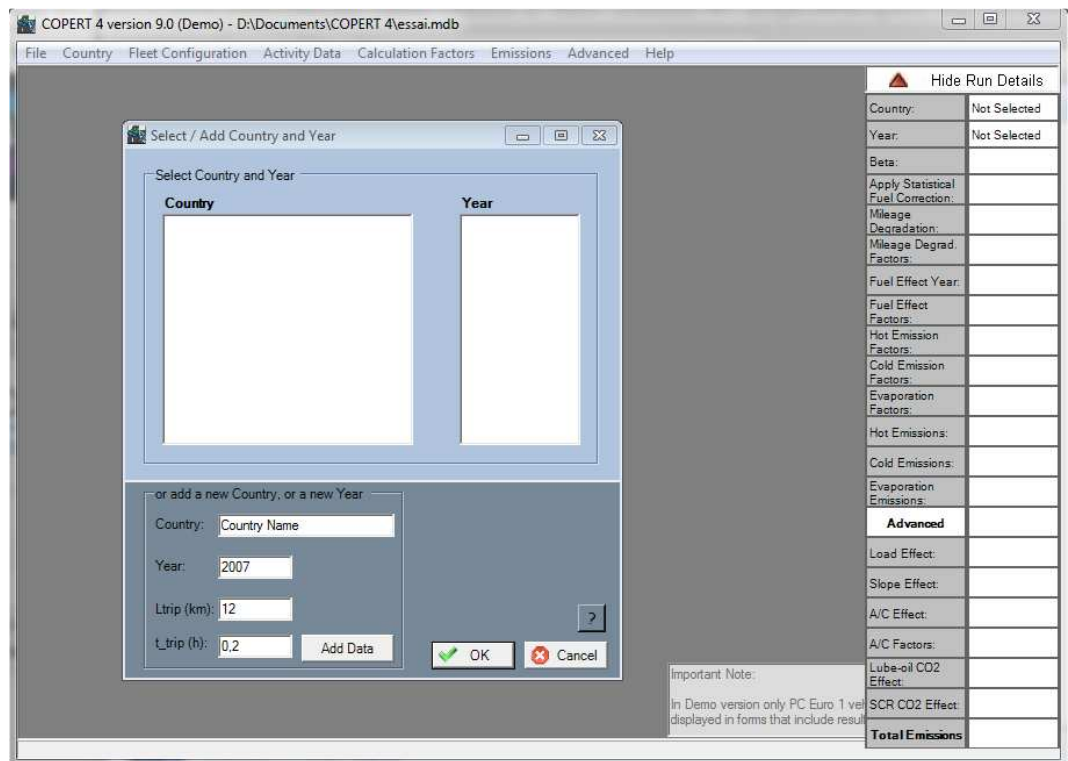


Figure 7 : Capture d'écran du logiciel COPERT

A l'origine, le logiciel COPERT s'appuyait sur les travaux de CORINAIR puis sur ceux du guide méthodologique EMEP/EEA air polluant emission inventory guidebook. Un lien très fort lie le logiciel à ce guide méthodologique car le logiciel s'appuie sur les travaux de celui-ci pour le calcul des émissions de polluants et dans le même temps, le guidebook utilise les résultats de COPERT pour les facteurs d'émission moyens.

Aujourd'hui, la version IV du logiciel utilise certains éléments issus d'ARTEMIS mais n'applique pas la méthodologie dans son intégralité.

De par ses données d'entrée, le logiciel COPERT se situe à une échelle macroscopique. En effet, le fait de devoir renseigner une distance parcourue par an, ainsi qu'une vitesse moyenne ne permet pas de réaliser une mesure fine et instantanée.

Dans notre cas où nous recherchons un logiciel capable de calculer des émissions de polluants de façon instantanée, tout le long des trajets, ce logiciel n'est donc pas adapté.

❖ Une méthode par situation de trafic

Le projet Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems (ARTEMIS) est le projet de modélisation des polluants et de la consommation énergétique des transports le plus abouti. Il prend en compte un vaste éventail de modes de transports.

Le projet avait deux objectifs principaux :

- Obtenir, grâce à un programme de recherche fondamentale, une meilleure compréhension des causes des différences dans les modèles existants, et donc de tenir compte des incertitudes dans la modélisation des émissions
- Le deuxième objectif était de développer une méthodologie harmonisée pour estimer les émissions de tous les modes de transport aux niveaux national et international.

Le projet a débouché sur une méthodologie et a permis de réviser de nombreux algorithmes qui ont été intégrés dans le EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.

HandBook Emission Factors for road transport est un logiciel de modélisation des émissions de polluants routiers initialement développé par les agences environnementales suisse, allemande et autrichienne. Puis elles ont été rejointes par les agences française, suédoise et norvégienne. Enfin, à la suite du projet ARTEMIS en 2007, HBEFA a hérité de sa méthodologie. De même que pour COPERT, HBEFA sert de base pour d'autres logiciels comme DaVISUM, dans lequel les mêmes algorithmes sont utilisés.

Ce logiciel fournit les facteurs d'émission de plusieurs polluants pour toutes les catégories de véhicules actuels (VL, VUL, poids lourds, autobus urbains, autocars, motocyclettes) chacune étant divisée en différentes catégories, pour une grande variété de situations de trafic.

Le logiciel calcule les facteurs d'émission sur un tronçon pour un parc de véhicule en fonction des situations de trafic : freeflow (fluide), heavy (chargé), saturated/congested (saturé/congestionné) et stop and go (touche-touche). De plus, il se base sur les différentes vitesses théoriques sur les différents types de voies.

Une fois de plus, devant l'absence de résultats de façon instantanée, ce logiciel ne correspond pas non plus à nos attentes.

❖ Un outil à mi-chemin entre macroscopique et instantané

Dans un précédent PFE, « Le mode de vie périurbain, un mode de vie « anti-durable » ? Quelle est la réalité des émissions de CO₂ dues à la mobilité dans le périurbain tourangeau ? », M. Ghoris (2011) avait également développé une feuille de calcul permettant d'évaluer les émissions de différents polluants.

M. Ghoris avait utilisé la méthode « vitesse moyenne » exposée dans le rapport « Methodology for calculating transport emissions and energy consumption ». Ce rapport a été rédigé en 1999 sur la demande de l'Union Européenne et présente de manière précise une méthode pour calculer les émissions d'un véhicule selon le nombre de kilomètres parcourus et la vitesse moyenne du déplacement.

Nous n'utiliserons pas cette feuille de calcul car nous avons fait le choix d'utiliser une méthode plus récente dans laquelle les algorithmes auront été mis à jour grâce à des projets de recherche plus récents et pour la simple raison que cette méthode utilise une nouvelle fois la notion de vitesse moyenne.

	COPERT 4	HBEFA	Feuille de calcul
Année de développement	2006	2010	2011
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Données d'entrée : type de véhicules, distance parcourue Méthode macroscopique 	<ul style="list-style-type: none"> Méthode par situation de trafic Calculs sur un tronçon pour un parc de véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> Utilise les données fournies par PériVia
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Méthode actualisée grâce à des éléments d'ARTEMIS 	<ul style="list-style-type: none"> Calculs pour différents polluants Méthode récente 	<ul style="list-style-type: none"> Calculs individualisés
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse moyenne Données d'entrée par an 	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse théorique par type de voirie Calculs pour un parc de véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse moyenne Méthodologie datant de 1999

Figure 8 : Tableau récapitulatif des différentes méthodes

Dans cette partie nous avons pu voir différentes méthodes qui permettent de calculer les émissions de plusieurs polluants. Ces méthodes et logiciels sont liés les uns avec les autres et permettent ce calcul grâce à des données d'entrée différentes mais dont les résultats ne conviennent pas à notre projet. C'est pourquoi, la construction d'un outil spécifique va devoir être réalisé.

II. La création d'un outil spécifique

Etant donné qu'aucun logiciel, à notre connaissance, n'existe déjà pour modéliser nos émissions de polluants, nous allons donc nous attacher à en créer un. Pour cela nous allons d'abord observer les données que nous avons à notre disposition pour ensuite développer une méthodologie adaptée à celles-ci.

❖ PériVia

Dans le cadre de notre étude, nous bénéficions des traces GPS de 37 personnes relevées lors du projet de recherche PériVia (2012). Ce projet, financé par le Plan Urbanisme Construction Architecture dans le cadre d'un appel à projet « La mobilité et le périurbain à l'impératif de la ville durable. Ménager les territoires de vie périurbains », a été mené par une équipe de recherche coordonnée par Denis Martouzet et composée de chercheurs du CITERES, du LADYSS, de Géoarchitecture et du pôle lausannois. « L'objectif de ce présent projet revient à superposer des spatialités réelles (discours et cartes des déplacements réalisés grâce aux GPS) et idéales (au regard de l'offre territoriale et du principe de durabilité) en vue d'une part de mettre en évidence les écarts entre le réel et le possible, entre le réel et l'idéal, et, d'autre part, d'obtenir les justifications apportées à ces écarts, notamment en termes de comportements durables ou non. »³

³ Rapport PériVia; PériVia (2012), Le périurbain à l'épreuve des modèles d'habiter. La viabilité périurbaine entre théorie(s) et pratique(s), Rapport de recherche PUCA, MEDD, Tours, Université de Tours François Rabelais, 309 p.

Num	ID	Sexe	Age	PCS	Famille	Enfants	Commune Résidence	CP Résidence	Commune Travail	CP Travail	Type	Enquêteur	Entretien 1	Entretien 2
1	N1	F	26	4	En couple	0	Amboise	37400	Véretz	37270	P-P	HB	22/09/2010	06/10/2010
2	H1	M	39	3	Divorcé	2	Cinq-Mars-la-Pile	37130	Tours	37200	P-U	HB	08/10/2010	04/11/2010
3	S1	F	50	4	Divorcé	2	Tours	37000	Chinon	37500	U-P	HB	22/10/2010	04/11/2010
4	N2	F	60	4	Marié	0	Luzé	37120	Tours	37200	P-U	HB	27/10/2010	06/01/2011
5	M1	F	33	4	Célibataire	0	Tours	37000	Chambray-Lès-Tours	37170	U-P	HB	28/10/2010	17/11/2010
6	L1	F	38	4	Marié	2	Ballan-Miré	37510	Tours	37000	P-U	BF	03/11/2010	14/12/2010
7	M2	F	47	4	Marié	3	Véretz	37270	Tours	37100	P-U	BF	03/11/2010	15/12/2010
8	I1	F	35	4	Marié	2	Saint-Branchs	37320	Tours	37200	P-U	BF	05/11/2010	07/02/2011
9	J1	M	61	4	Marié	2	Veigné	37250	Tours	37200	P-U	BF	05/11/2010	19/01/2010
10	T1	F	71	7	Marié	3	Esvres-sur-Indre	37320	Esvres-sur-Indre	37320	P-P	BF	12/11/2010	17/01/2011
11	J3	M	45	2	Marié	3	Montlouis-sur-Loire	37270	Amboise	37400	P-P	DM	12/11/2010	12/01/2011
12	V1	F	41	5	Marié	3	Montlouis-sur-Loire	37270	Vouvray	37210	P-P	DM	12/11/2010	13/01/2011
13	L2	M	43	2	Divorcé	1	Saint-Branchs	37320	Tours	37000	P-U	DM	13/11/2010	08/02/2010
14	S2	F		3	Marié	3	Fondettes	37230	Tours	37200	P-U	DM	14/11/2010	04/01/2011
15	D1	M		4	Marié	3	Fondettes	37230	Tours	37200	P-U	DM	14/11/2010	03/01/2011
16	M5	M	15	8	Célibataire	0	Fondettes	37230	Tours	37200	P-U	DM	14/11/2010	13/01/2011
17	J2	M	65	7	Veuf	4	Saint-Cyr-sur-Loire	37540	Saint-Cyr-sur-Loire	37540	P-P	DM	15/11/2010	21/03/2011
18	M3	F		7	Veuve	2	Montlouis-sur-Loire	37270	Montlouis-sur-Loire	37270	P-P	DM	21/11/2010	10/02/2011
19	P2	M		3	Divorcé	2	Fondettes	37100	Tours	37000	U-P	DM	02/12/2010	
20	P1	F			Divorcé	2	Tours	37100	Chinon	37500	U-P	BF	02/12/2010	09/03/2011
21	P4	F	14	8	Célibataire	0	Tours	37100	Tours	37000	U-U	BF	02/12/2010	14/04/2011
22	P3	F	17	8	Célibataire	0	Tours	37100	Tours	37000	U-U	DM	02/12/2010	24/03/2011
23	P5	M	45	4	Divorcé	1	Sainte-Maure-de-Tourain	37800	Tours	37000	P-U	BF	03/01/2011	11/03/2011
24	M4	F	56	4	Marié		Faye-la-Vineuse	37120	Tours	37200	P-U	BF	03/01/2011	08/05/2011
25	F2	F	40	4	Divorcé	3	Saint-Cyr-sur-Loire	37540	Tours	37200	P-U	BF	07/03/2011	01/04/2011
26	L3	M	33	3	Marié	3	Chambray-Lès-Tours	37170	Tours	37200	P-U	BF	08/03/2011	
27	J4	M	50	4	Divorcé	1	Chanceaux-sur-Choisille	37390	Tours	37200	P-U	BF	07/03/2011	06/04/2011
28	S3	F	42	4	Divorcé	2	Metray	37390	Tours	37200	P-U	BF	14/03/2011	05/04/2011
29	J6	M	48	4	Marié	2	Villaines-les-Rochers	37190	Tours	37000	P-U	BF	14/03/2011	31/03/2011
30	F4	M	32	4	Marié	0	Notre-Dame-d'Oé	37390	Tours	37100	P-U	BF	14/03/2011	08/04/2011
31	G1	M	40	4	Marié	2	Château-la-Vallière	37330	La Membrolle-sur-Ch	37390	P-U	ST	28/03/2011	29/04/2011
32	G2	F	42	4	Marié	2	Château-la-Vallière	37330	La Membrolle-sur-Ch	37390	P-U	ST	28/03/2011	29/04/2011
33	L4	F	60	7	Célibataire	1	Neuillé-Pont-Pierre	37360	Neuillé-Pont-Pierre	37360	P-P	HB	28/04/2011	27/05/2011
34	T2	F	62	7	Célibataire	0	Neuillé-Pont-Pierre	37360	Neuillé-Pont-Pierre	37360	P-P	BF	28/04/2011	27/05/2011
35	X1	M	55	3	Marié		Cheillé	37190	L'île Bouchard	37220	P-P	BF	27/05/2011	
36	M6	F	55	4	Marié	2	Pocé-sur-Cisse	37530	Tours	37000	P-U	BF	25/05/2011	22/06/2011
37	N3	F	50	5	Marié	1	Cinq-Mars-la-Pile	37130	Tours	37100	P-U	BF	23/06/2011	

Figure 9 : Liste des participants à l'enquête

Les GPS confiés aux différents individus ont enregistré leurs déplacements pendant une semaine type (incluant le week-end). Les traces GPS nous donnent donc le positionnement exact à intervalles de temps très proches (toutes les 1 à 3 secondes), la distance parcourue entre deux intervalles de temps, la date et l'heure d'arrivée et de départ, ainsi que la vitesse instantanée pour chaque positionnement relevé.

Nous disposons également, pour chaque individu, d'un fichier nous donnant quelques renseignements sur chaque trajet effectué, modes (voiture, etc.) et motifs des déplacements. Nous pourrions donc nous intéresser spécifiquement aux déplacements en voiture.

Nous allons donc pouvoir créer notre propre outil de calcul à partir des données dont nous disposons.

❖ **Explication de la méthode utilisée**

Pour construire notre outil de calcul, nous utiliserons les algorithmes exposés et détaillés dans l'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009 mis à jour en mai 2012.

Avec ces algorithmes, il va être possible de calculer les émissions de CO₂ mais aussi d'autres polluants comme le monoxyde carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures imbrulés (HC).

Lorsqu'il est question des émissions produites par un véhicule, ces différents polluants ne sont pas toujours pris en compte, pourtant ils sont généralement plus nocifs que le CO₂. En utilisant l'équivalent CO₂ il peut être intéressant de prendre en compte et de mesurer la part de ces polluants à notre calcul.

Les données GPS que nous possédons se présentent sous la forme suivante où chaque ligne correspond à une fraction du trajet étudié:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Date	Time	Latitude	Longitude	Altitude	Speed (m/h)	Course	Type	Distance (m)
2	07/03/2011	16:21:55	47,369675	0,677985	37,7	47448	315	0	17,23
3	07/03/2011	16:21:56	47,369724	0,677986	41,43	45036	317	0	5,45
4	07/03/2011	16:21:57	47,369808	0,677879	40,4	43452	322	0	12,34
5	07/03/2011	16:21:58	47,369892	0,67779	40,21	41724	324	0	11,5
6	07/03/2011	16:21:59	47,369972	0,677709	40,65	40104	327	0	10,79
7	07/03/2011	16:22:00	47,370045	0,677667	43,1	38232	329	0	8,71
8	07/03/2011	16:22:01	47,370125	0,67761	44,24	39060	329	0	9,88
9	07/03/2011	16:22:02	47,370201	0,677528	43,27	36324	328	0	10,47
10	07/03/2011	16:22:03	47,370277	0,677432	41,19	32436	327	0	11,12

Figure 10 : Extrait des traces GPS de l'individu F2

Nous pouvons bien voir la date du trajet, l'heure, la position du véhicule, sa vitesse et la distance parcouru sur l'intervalle de temps très court (1 seconde dans cet exemple).

Nous disposons de la distance parcourue par le véhicule entre deux relevés. A partir de celle-ci, une vitesse moyenne est calculée. On pourra considérer cette vitesse moyenne comme vitesse instantanée étant donné le très court intervalle de temps entre deux relevés.

Nous calculerons les émissions des différents polluants pour chaque ligne, ce qui nous donnera des émissions instantanées.

Pour nos calculs nous ferons l'hypothèse que les véhicules répondent aux normes européennes EURO 1 (voitures commercialisées après 1993 et avant 1996) afin de pouvoir comparer nos résultats à ceux de M. Ghoris (2011). Ne disposant pas de l'information relative au véhicule de chaque individu, (le protocole de recherche PériVia n'ayant pas été conçu pour permettre ce type de calcul, l'information n'avait pas été collectée), nous prendrons comme référence, des véhicules essence de 5CV ou moins, de cylindrée inférieure à 1,4l et commercialisé en 1995. Lors de futures recherches, il sera tout a fait possible d'intégrer cette information, notre logiciel devra donc prendre en compte cet aspect pour permettre un calcul plus réaliste.

Nos calculs seront effectués sur un échantillon de plusieurs individus qui sera présenté un peu plus loin.

Nous allons maintenant voir la démarche suivie pour calculer ces différentes émissions.

Le calcul des émissions se fait en deux temps : les émissions à chaud et les émissions à froid.

$$E_{tot} = E_{à\ chaud} + E_{à\ froid}$$

Calcul des émissions à chaud

Dans cette partie nous allons voir le calcul des émissions à chaud pour les polluants CO, NO_x et HC.

Les émissions à chaud correspondent aux émissions produites lorsque les « organes » du véhicule (moteur, catalyseur) ont atteint leur température de fonctionnement.

Les émissions à chaud sont calculées en multipliant la distance parcourue par un facteur d'émission qui dépend de la vitesse du véhicule.

$$E_{à\ chaud} = \text{Distance parcourue} * \frac{FE}{1000}$$

Unités :

Distance parcourue en m

FE en g/km

E à chaud en g

Il est donc nécessaire de calculer le facteur d'émission. Les émissions à chaud pour les voitures à essence est calculé comme une fonction de la vitesse. Les facteurs d'émission sont développés dans le cadre du projet Artemis. La fonction générique utilisée dans ce cas est la suivante :

$$FE = \frac{a + c * V + e * V^2}{1 + b * V + d * V^2}$$

Unités :

V en km/h

FE en g/km

Les coefficients a, b, c, d et e diffèrent pour les différents polluants (CO, HC, NO_x) et sont donnés dans le tableau suivant pour plusieurs normes de véhicules :

Pollutant	Emission Standard	Engine capacity	Speed Range (km/h)	R ²	a	b	c	d	e
CO	Euro 1	All capacities	10–130	0.87	1.12E+01	1.29E-01	-1.02E-01	-9.47E-04	6.77E-04
	Euro 2	All capacities	10–130	0.97	6.05E+01	3.50E+00	1.52E-01	-2.52E-02	-1.68E-04
	Euro 3	All capacities	10–130	0.97	7.17E+01	3.54E+01	1.14E+01	-2.48E-01	
	Euro 4	All capacities	10–130	0.93	1.36E-01	-1.41E-02	-8.91E-04	4.99E-05	
HC	Euro 1	All capacities	10–130	0.82	1.35E+00	1.78E-01	-6.77E-03	-1.27E-03	
	Euro 2	All capacities	10–130	0.95	4.11E+06	1.66E+06	-1.45E+04	-1.03E+04	
	Euro 3	All capacities	10–130	0.88	5.57E-02	3.65E-02	-1.10E-03	-1.88E-04	1.25E-05
	Euro 4	All capacities	10–130	0.10	1.18E-02		-3.47E-05		8.84E-07
NO _x	Euro 1	All capacities	10–130	0.86	5.25E-01		-1.00E-02		9.36E-05
	Euro 2	All capacities	10–130	0.52	2.84E-01	-2.34E-02	-8.69E-03	4.43E-04	1.14E-04
	Euro 3	All capacities	10–130	0.80	9.29E-02	-1.22E-02	-1.49E-03	3.97E-05	6.53E-06
	Euro 4	All capacities	10–130	0.71	1.06E-01		-1.58E-03		7.10E-06

Figure 11 : Tableau donnant les différents coefficients

Ainsi, pour chaque ligne du fichier il a été possible de calculer les émissions de ces trois polluants.

Calcul des émissions à froid

Dans cette partie nous allons voir le calcul des émissions à froid pour les polluants CO, NO_x et HC.

Les émissions à froid correspondent aux émissions produites juste après le démarrage du véhicule lorsque les « organes » du véhicule (moteur et dispositif de traitement des gaz d'échappement), sont encore froids et ne fonctionnent donc pas de manière optimale. Elles sont calculées comme des surémissions par rapport aux émissions « attendues » si tous les organes du véhicule avaient atteint leur température de fonctionnement.

La formule qui permet de calculer les émissions à froid est la suivante :

$$E_{\text{à froid}} = \text{Distance parcourue} * \frac{FE}{1000} * \left(\frac{e^{\text{COLD}}}{e^{\text{HOT}}} - 1 \right)$$

Unités :

Distance parcourue en m

FE en g/km

E_{à froid} en g

Le quotient $\frac{e^{COLD}}{e^{HOT}}$, présent dans la formule précédente, est obtenu grâce au tableau suivant (VOC, correspondant aux composés organiques volatiles, est l'équivalent de HC) :

Polluant	e^{COLD} / e^{HOT}
CO	$3.7 - 0.09 t_a$
NO _x	$1.14 - 0.006 t_a$
VOC	$2.8 - 0.06 t_a$

Figure 12 : Tableau permettant de calculer $\frac{e^{COLD}}{e^{HOT}}$

Dans ces formules, t_a correspond à la température ambiante. La température sera fixée à 12°C (pour prendre la même valeur que dans les travaux précédents) tout au long de la journée et pour tous les jours de l'étude mais pour plus de précision, la modélisation pourra prendre en compte l'évolution de cette température ambiante, paramétrable par l'utilisateur du logiciel.

A ce stade, les émissions à froid peuvent être calculées. Mais ces émissions à froid sont à calculer, comme leur nom l'indique, tant que le moteur est froid. Pour cela il faut calculer la fraction du trajet pour laquelle le moteur était froid.

Selon les données statistiques disponibles (André, Hassel, Weber, 1998), une valeur européenne de 12,4 km (L) a été établie pour la longueur d'un trajet moyen pour une voiture de tourisme durant laquelle le moteur est considéré comme fonctionnant « à froid ». A partir de cela il est possible de calculer β qui est la fraction du trajet moyen pendant laquelle le moteur est froid.

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 * L - (0,00974 - 0,000385 * L) * t_a$$

Avec $L = 12,4\text{km}$ et $t_a = 12^\circ\text{C}$ on obtient une valeur de 0,5863 pour β . Il faudra donc calculer les émissions à froid pour les premiers 58,63% kilomètres du trajet moyens. Les émissions devront donc être calculées pour les 7,27 premiers kilomètres du trajet.

Bien entendu, lorsque deux trajets s'enchainent il n'y a pas besoin de recalculer les émissions à froid pour le deuxième trajet (si le premier était suffisamment long). Si le premier trajet fait moins de 7,27km, le calcul des émissions à froid est poursuivi sur le second trajet (puis le troisième si besoin...).

On peut considérer un moteur comme froid au bout de 5h. Donc si plus de 5h se sont écoulées entre la fin d'un trajet et le début du suivant, il sera nécessaire de reprendre le calcul des émissions à froid.

En ajoutant les émissions à froid et les émissions à chaud pour ces trois polluants, nous obtenons leurs émissions totales.

Calcul des émissions de CO₂

Pour le calcul des émissions de CO₂ on utilise la formule suivante :

$$E_{CO_2} = 40,011 * \frac{FC}{12,011 + 1,008r_{H:C} + 16,000r_{O:C}}$$

Dans cette formule, $r_{H:C}$ est le ratio d'hydrogène par rapport au carbone et $r_{O:C}$ est le ratio d'oxygène par rapport au carbone pour le carburant concerné. S'il s'agit d'un carburant oxygéné décrit par la formule $C_xH_yO_z$, ce ratio peut être calculé (European Energy Agency, 2009). Il est également possible de se référer au tableau présent dans le guidebook (2009, mis à jour en 2012), qui donne les différentes valeurs pour plusieurs carburants.

Fuel (m)	Chemical formula	Ratio of hydrogen to carbon	Ratio of oxygen to carbon
Gasoline	$[CH_{1.8}]_x$	$r_{H:C}=1.80$	$r_{O:C}=0.0$
Diesel	$[CH_2]_x$	$r_{H:C}=2.00$	$r_{O:C}=0.0$
Ethanol	C_2H_5OH	$r_{H:C}=3.00$	$r_{O:C}=0.5$

Figure 13 : Tableau donnant les différentes valeurs des ratios pour différents carburants

FC (Fuel Consumption) correspond à la consommation de carburant. N'ayant pas la possibilité d'avoir la consommation instantanée dans notre étude, nous fixerons cette valeur à 7,6l/100km ce qui correspond à la consommation moyenne d'un véhicule essence de 5CV ou moins en 1995⁴. Bien entendu, par la suite, dans de nouvelles études, il pourrait être intéressant d'effectuer un relevé de cette valeur (au même titre que la distance parcourue ou l'altitude par exemple) afin de pouvoir affiner les résultats.

Nous avons maintenant les émissions instantanées de CO₂.

⁴ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr> source : panel carburant TNS/SECODIP

A ce stade, on obtient un tableau semblable à celui-ci-dessous, où chaque ligne correspond à une fraction du trajet étudié :

Facteur d'émission Euro 1			Émissions à chaud Euro 1			Émissions à froid			Émissions			
CO	NOx	HC	CO	NOx	HC	CO	NOx	HC	CO	NOx	HC	CO2
4,0792495	0,4149622	0,4190796	0,0215384	0,002191	0,0022127	0,0348923	0,000149	0,0023898	0,0564307	0,00234	0,0046025	0,8404027
3,3008282	0,3816145	0,3365904	0,0139295	0,0016104	0,0014204	0,0225658	0,0001095	0,001534	0,0364953	0,0017199	0,0029545	0,6716855
2,8913427	0,3592122	0,2941084	0,0151795	0,0018859	0,0015441	0,0245909	0,0001282	0,0016676	0,0397704	0,0020141	0,0032117	0,8356277
2,5796344	0,3392444	0,2620356	0,0162259	0,0021338	0,0016482	0,026286	0,0001451	0,0017801	0,0425119	0,0022789	0,0034283	1,0011616
2,3980567	0,3262962	0,2433865	0,0165946	0,002258	0,0016842	0,0268832	0,0001535	0,001819	0,0434777	0,0024115	0,0035032	1,1014369
2,3154097	0,320069	0,2348881	0,016532	0,0022853	0,0016771	0,0267819	0,0001554	0,0018113	0,0433139	0,0024407	0,0034884	1,1364537
2,3834067	0,3252075	0,2418809	0,0175419	0,0023935	0,0017802	0,0284178	0,0001628	0,0019227	0,0459597	0,0025563	0,0037029	1,1714705
2,4305171	0,3286848	0,2467215	0,0175969	0,0023797	0,0017863	0,028507	0,0001618	0,0019292	0,046104	0,0025415	0,0037154	1,1523704
2,4484144	0,329988	0,2485599	0,0219133	0,0029534	0,0022246	0,0354996	0,0002008	0,0024026	0,0574129	0,0031542	0,0046272	1,4245463
2,281977	0,3174911	0,2314461	0,0229567	0,003194	0,0023283	0,0371898	0,0002172	0,0025146	0,0601465	0,0034112	0,004843	1,6012219
2,3453279	0,3223472	0,237966	0,0190441	0,0026175	0,0019323	0,0308514	0,000178	0,0020869	0,0498954	0,0027954	0,0040191	1,2924375
2,4718692	0,331681	0,2509688	0,0185637	0,0024909	0,0018848	0,0300733	0,0001694	0,0020356	0,048637	0,0026603	0,0039203	1,1953456
2,5825358	0,3394432	0,2623336	0,0171222	0,0022505	0,0017393	0,027738	0,000153	0,0018784	0,0448602	0,0024035	0,0036177	1,0552784
2,7912786	0,3530994	0,2837952	0,0171385	0,002168	0,0017425	0,0277643	0,0001474	0,0018819	0,0449027	0,0023155	0,0036244	0,9772865
3,2104069	0,3770032	0,3271646	0,0164694	0,001934	0,0016784	0,0266804	0,0001315	0,0018126	0,0431498	0,0020655	0,003491	0,8165277
3,9907614	0,411667	0,4095688	0,0152447	0,0015726	0,0015646	0,0246964	0,0001069	0,0016897	0,0399411	0,0016795	0,0032543	0,6080186
4,715682	0,4357608	0,4886196	0,0114591	0,0010589	0,0011873	0,0185638	7,201E-05	0,0012823	0,0300229	0,0011309	0,0024697	0,3867763
4,5882032	0,4319623	0,474525	0,0313374	0,0029503	0,003241	0,0507666	0,0002006	0,0035003	0,0821041	0,0031509	0,0067413	1,0871119
4,1482522	0,4174566	0,4265219	0,0157219	0,0015822	0,0016165	0,0254694	0,0001076	0,0017458	0,0411913	0,0016897	0,0033624	0,6032436

Figure 14 : Tableau pour le calcul des émissions des différents polluants

Dans les 3 premières colonnes, nous retrouvons le calcul des facteurs d'émission des polluants CO, NOx et HC. Dans les 3 suivantes, le calcul des émissions à chaud qui en découlent. Puis dans les 3 colonnes suivantes, le calcul des émissions à froid. Enfin, les 4 dernières colonnes présentent le total des émissions.

Nous pouvons remarquer qu'en effet les émissions de CO₂ sont plus importantes que celles de CO, NO_x ou HC. Mais ces derniers sont plus nocifs. Pour pouvoir en tenir compte, nous pouvons utiliser l'équivalent CO₂. Cette unité permet de donner une équivalence entre les différents gaz à effet de serre et le CO₂. Ainsi, 1kg de NO_x correspond à 40kg de CO₂. Il suffira donc de multiplier les émissions de NO_x par 40. Il en est de même pour les valeurs de CO et HC. Cela étant ne disposant pas des tables d'équivalence CO₂ pour ces deux molécules, nous n'en tiendrons pas compte.

Voici le tableau récapitulatif des différentes émissions pour tous les trajets effectués en voiture pour l'individu F2.

Date	Trajet en voiture	Émissions (g)					CO ₂ + Eq CO ₂ Nox
		CO ₂	CO	Nox	HC	Eq CO ₂ Nox	
07/03/2011	T1	2716,9129	36,7019	3,4148	2,8864	136,5949	2853,5078
07/03/2011	T2	226,4310	5,8838	0,3104	0,4779	12,4159	238,8469
07/03/2011	T3	141,1734	4,0404	0,2058	0,3290	8,2316	149,4050
07/03/2011	T4	329,3836	9,0530	0,4735	0,7355	18,9388	348,3224
08/03/2011	T1	2744,9628	42,0803	3,8039	3,2351	152,1560	2897,1188
08/03/2011	T2	2699,1792	41,1679	3,5288	3,2335	141,1511	2840,3303
11/03/2011	T5	3549,1252	30,0358	5,0596	2,7653	202,3844	3751,5096
11/03/2011	T6	857,0395	6,8250	1,0329	0,6761	41,3177	898,3572
11/03/2011	T7	2363,4351	16,9861	2,6964	1,6771	107,8544	2471,2895
12/03/2011	T1	2342,9142	39,2217	2,8631	3,1818	114,5224	2457,4366
13/03/2011	T1	3209,9190	44,5571	4,2849	3,4856	172,3982	3382,3172
TOTAL		53397,4808	621,8671	67,8939	53,4194	2716,8133	56114,2941

Figure 15 : Tableau récapitulatif des émissions de l'individu F2

Pour construire ce tableau, nous avons fait la somme sur les 4 dernières colonnes du tableau précédemment présenté et ce pour chaque trajet.

Nous pouvons remarquer que le fait d'inclure l'équivalent CO₂ du NO_x augmente la quantité totale de CO₂ de 6%. Cela peut paraître faible mais si cette opération est effectuée pour l'ensemble des polluants, cela peut devenir non négligeable. Ces opérations devront être effectuées pour tous les individus. Etant donné l'importante charge de travail au niveau des calculs, il serait judicieux d'utiliser les macros dans Excel afin d'automatiser ces calculs.

❖ Présentation de l'échantillon étudié

Pour notre étude, seuls 19 individus ont été retenus parmi les 37 pour lesquels nous disposons des relevés GPS. Il nous fallait des individus avec un mode de vie globalement similaire (âge, PCS) afin de pouvoir les comparer. En effet, comparer des enfants/étudiants, qui vont majoritairement utiliser les transports en commun et les modes doux, avec des actifs, qui vont effectuer des trajets domicile/travail, et des retraités, qui vont dans l'ensemble se déplacer pour leurs loisirs ou des achats, ne permettrait pas de tirer des conclusions.

Afin de comparer les différents individus, nous prendrons en compte uniquement 7 jours (les relevés étant généralement effectués durant 10 jours).

Voici dans le tableau ci-dessous, le récapitulatif des individus étudiés :

Individu	Sexe	PCS	Commune de résidence	Commune de Travail	Distances entre villes domicile/travail (km)
H1	M	3	Cinq-Mars-la-Pile	Tours	18
N2	F	4	Luzé	Tours	52
L1	F	4	Ballan-Miré	Tours	11
M2	F	4	Véretz	Tours	12
I1	F	4	Saint-Branchs	Tours	28
J3	M	2	Montlouis-sur-Loire	Amboise	13
V1	F	5	Montlouis-sur-Loire	Vouvray	6
L2	M	2	Saint-Branchs	Tours	28
S2	F	3	Fondettes	Tours	10
D1	M	4	Fondettes	Tours	10
P1	F	3	Tours	Chinon	48
P2	M	3	Fondettes	Tours	10
P5	M	4	Ste-Maure de Touraine	Tours	34
M4	F	4	Faye-la-Vineuse	Tours	66
F2	F	4	St Cyr-sur-Loire	Tours	4,4
L3	M	3	Chambray-les-Tours	Tours	9
J4	M	4	Chanceaux-sur-Choisille	Tours	13
J6	M	4	Villaines-les-Rochers	Tours	33
F4	M	4	Notre-Dame-d'Oé	Tours	62

Figure 16 : Tableau des individus étudiés

Nous allons maintenant appliquer à ces individus la méthode de calcul présentée ci-dessus afin d'évaluer et d'apporter une réponse à notre hypothèse qui est qu'une mesure plus fine des émissions donnent des résultats différents au niveau des émissions des différents polluants.

Partie 3 : Exploitation des résultats

Cette partie va s'organiser en deux temps.

Tout d'abord nous allons comparer les résultats que nous avons obtenus avec notre méthode de calcul à ceux obtenus dans un précédent projet de recherche (GHORIS, 2011).

Dans un second temps, nous essaierons d'estimer la relation l'éloignement du lieu de résidence et de la ville centre et le volume des émissions de CO₂. Si l'on est plus éloigné du centre a-t-on nécessairement un volume plus grand d'émissions de polluants ?

I. Traitement informatique des données

Précédemment, il avait été évoqué la nécessité d'automatiser les calculs avec l'utilisation des macros dans Excel compte tenu de leur importance.

Une démarche d'automatisation a donc été engagée. Faute de temps et de compétences, celle-ci n'a pas complètement aboutie et reste à finaliser.

Compte tenu de ce désagrément, les calculs ont été effectués manuellement pour trois individus. Certes, les résultats seront à mettre en perspective car l'échantillon ne sera que très peu représentatif. Néanmoins, il nous permettra de nous faire une première idée qui pourra être approfondie par la suite.

II. Intérêt d'un calcul instantané des émissions

Les trois individus que nous avons sélectionnés pour effectuer les calculs ne l'ont pas été au hasard. Tout d'abord, ils appartiennent à la même catégorie socio-professionnelle : 4 (professions intermédiaires). Ensuite, nous avons choisi trois individus ayant pour lieu de travail la ville de Tours. L'un d'eux résidant dans le périurbain proche (F2, Saint-Cyr-sur-Loire), les deux autres dans le périurbain lointain (P5 à Sainte-Maure de Touraine et I2 à Saint-Branches).

Le tableau page suivante présente le total des émissions de CO₂, trajet par trajet, pour l'individu F2, résidant à Saint-Cyr-sur-Loire. On peut y voir le résultat du calcul avec la méthode instantanée que nous avons expliquée précédemment et celui de la méthode non-instantanée avec laquelle nous allons faire la comparaison. Cette méthode que nous qualifierons de moyenne correspond à celle utilisée dans un précédent travail de recherche (GHORIS, 2011). Elle permettait de calculer les émissions de CO₂ à partir de la longueur du trajet et du temps mis pour l'effectuer (et donc, par calcul, de la vitesse moyenne lors du trajet).

Dans la dernière colonne, nous avons calculé le rapport entre les deux méthodes.

	Date	Trajet en voiture	Distance trajet (km)	Émissions de CO2 (g) (méthode instantanée)	Émissions de CO2 (g) (méthode moyenne)	Méthode instantanée par rapport méthode moyenne
Lundi	07/03/2011	T1	11,2	2 716,9129	1 922,6700	29,2%
	07/03/2011	T2	1	226,4310	286,6200	-26,6%
	07/03/2011	T3	0,6	141,1734	201,7700	-42,9%
	07/03/2011	T4	1,4	329,3836	414,1000	-25,7%
Mardi	08/03/2011	T1	11,4	2 744,9628	1 957,8800	28,7%
	08/03/2011	T2	11,2	2 699,1792	1 990,1200	26,3%
	08/03/2011	T3	12,9	3 130,0300	2 284,7400	27,0%
	08/03/2011	T4	11,2	2 701,8332	1 946,1100	28,0%
Mercredi	09/03/2011	T1	13,4	3 234,6205	2 255,6800	30,3%
	09/03/2011	T2	11,3	2 732,4693	1 922,8400	29,6%
	09/03/2011	T3	10,8	2 619,0215	1 860,1700	29,0%
	09/03/2011	T4	7,2	1 733,5015	1 497,2400	13,6%
	09/03/2011	T5	7,3	1 754,8087	1 498,3000	14,6%
	09/03/2011	T6	0,6	147,5629	204,1100	-38,3%
	09/03/2011	T7	0,07	14,0781	151,4600	-975,9%
	09/03/2011	T8	0,1	13,4201	195,8600	-1359,5%
	09/03/2011	T9	0,9	220,8810	275,2000	-24,6%
	09/03/2011	T10	2,5	602,5200	597,9400	0,8%
	09/03/2011	T12	0,9	219,1101	274,3700	-25,2%
	Jeudi	10/03/2011	T1	9,6	2 323,7119	2 014,1800
10/03/2011		T2	7,6	1 837,7945	1 633,3100	11,1%
10/03/2011		T5	5,5	1 313,7870	1 524,4700	-16,0%
10/03/2011		T8	3,7	882,5152	897,7500	-1,7%
10/03/2011		T9	2,6	619,9489	606,6700	2,1%
10/03/2011		T13	9,5	2 301,1249	2 003,2500	12,9%
Vendredi	11/03/2011	T1	13	3 148,6976	2 213,8600	29,7%
	11/03/2011	T2	0,7	159,0233	221,9900	-39,6%
	11/03/2011	T4	2,1	506,5447	671,6100	-32,6%
	11/03/2011	T5	14,7	3 549,1252	2 616,9100	26,3%
	11/03/2011	T6	3,6	857,0395	781,5700	8,8%
	11/03/2011	T7	9,8	2 363,4351	1 813,0800	23,3%
Samedi	12/03/2011	T1	9,7	2 342,9142	1 842,1800	21,4%
Dimanche	13/03/2011					
TOTAL			208,0700	50 187,5618	40 578,0100	19,1%

Figure 17 : Comparatif des émissions de CO2 pour l'individu F2

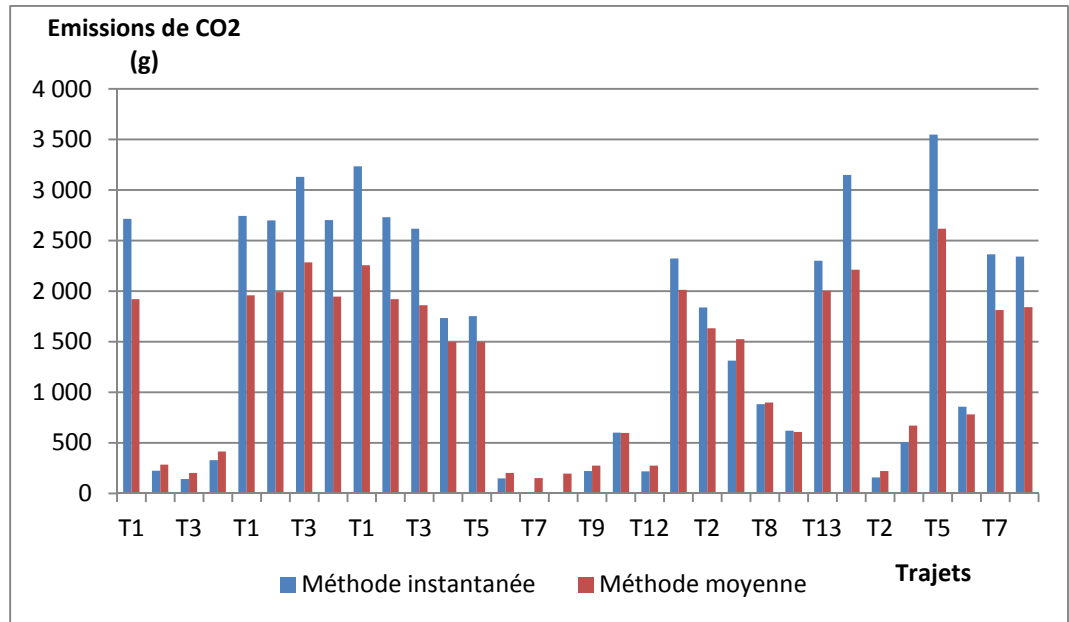


Figure 18 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu F2

Nous pouvons constater qu'avec la méthode instantanée nous obtenons des émissions plus importantes. Parfois elles sont supérieures, d'autres fois elles sont inférieures. Mais en moyenne, elles sont supérieures de près de 19%.

	Date	Trajet en voiture	Distance trajet (km)	Émissions de CO2 (g) (méthode instantanée)	Émissions de CO2 (g) (méthode moyenne)	Méthode instantanée par rapport méthode moyenne
Mercredi	05/01/2011	T1	1,9	461,6490	465,69	-0,9%
	05/01/2011	T8	2	479,5086	596,35	-24,4%
Jeudi	06/01/2011	T1	1,9	448,1032	465,69	-3,9%
	06/01/2011	T8	1,9	469,2603	533,10	-13,6%
Vendredi	07/01/2011	T1	2	473,8812	458,16	3,3%
	07/01/2011	T8	2,1	495,5658	496,88	-0,3%
	07/01/2011	T9	1	248,8438	243,98	2,0%
	07/01/2011	T10	1,1	265,5009	266,66	-0,4%
Samedi	08/01/2011	T1	13,1	3 170,1886	2 023,96	36,2%
	08/01/2011	T2	13,2	3 186,6135	2 085,10	34,6%
	08/01/2011	T3	1	247,9922	237,82	4,1%
	08/01/2011	T4	1,9	444,8660	443,32	0,3%
Dimanche	08/01/2011	T5	2	487,0787	493,11	-1,2%
	09/01/2011	T1	1,2	289,9435	299,85	-3,4%
	09/01/2011	T2	1,2	279,7170	281,65	-0,7%
	09/01/2011	T3	1,1	261,5235	285,95	-9,3%
Lundi	09/01/2011	T4	2,3	694,3025	534,54	23,0%
	10/01/2011	T1	2	478,5481	448,17	6,3%
	10/01/2011	T8	3	730,3531	645,71	11,6%
Mardi	10/01/2011	T9	1,2	287,2169	227,64	20,7%
	11/01/2011	T1	2,1	502,7028	501,37	0,3%
	11/01/2011	T8	27,4	6 619,0151	3 972,72	40,0%
TOTAL			86,6	21 022,3743	16 007,42	23,9%

Figure 19 : Comparatif des émissions pour l'individu P5

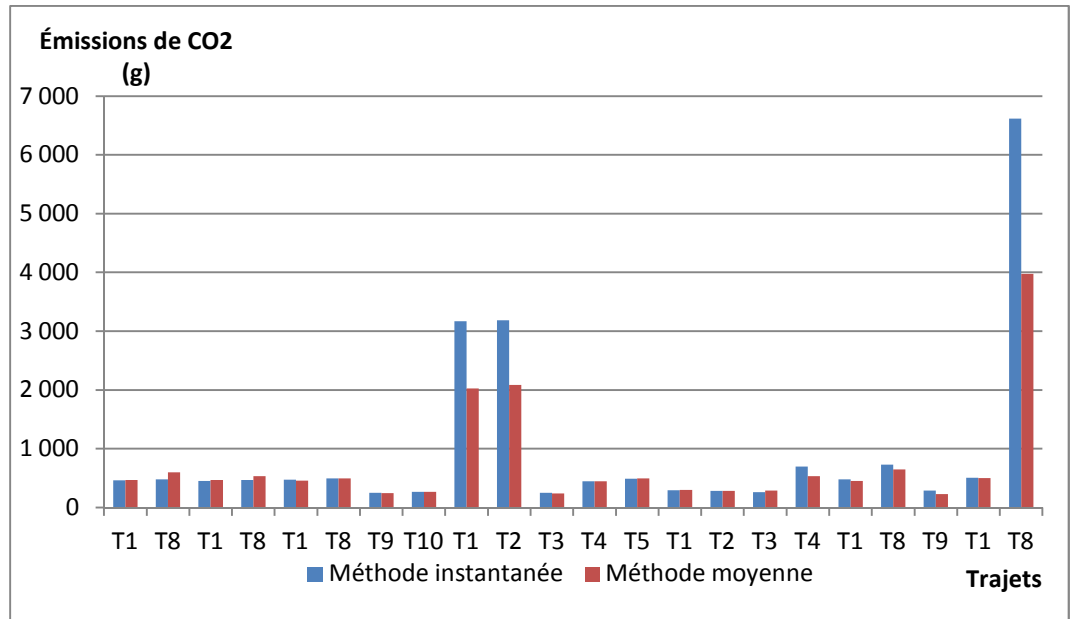


Figure 20 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu P5

De même que pour l'individu F2, les calculs avec la méthode instantanée pour l'individu P5 présente des résultats plus importants de 23,9% cette fois ci.

	Date	Trajet en voiture	Distance trajet (km)	Émissions de CO2 (g) (méthode instantanée)	Émissions de CO2 (g) (méthode moyenne)	Méthode instantanée par rapport méthode moyenne	
Dimanche	06/11/2011	T1	17,5	4 216,6142	2 727,87	35,3%	
	06/11/2011	T2	2,3	550,7267	592,95	-7,7%	
	06/11/2011	T4	5,7	1 369,6108	1 243,45	9,2%	
	06/11/2011	T5	5,9	1 422,8678	1 229,96	13,6%	
	06/11/2011	T6	0,5	121,5380	235,66	-93,9%	
	06/11/2011	T7	7,9	1 907,7836	1 559,83	18,2%	
	06/11/2011	T8	9,9	2 399,5316	1 631,92	32,0%	
	06/11/2011	T9	13	3 153,7395	1 999,93	36,6%	
	06/11/2011	T10	18,6	4 488,3497	3 090,84	31,1%	
	06/11/2011	T13	1,1	258,0227	332,02	-28,7%	
	06/11/2011	T15	0,3	79,5721	135,46	-70,2%	
	06/11/2011	T16	20,3	4 899,9789	3 277,55	33,1%	
	Lundi	07/11/2011	T1	29,5	7 136,8751	4 193,67	41,2%
		07/11/2011	T4	29,5	7 140,9275	4 183,88	41,4%
	Mardi	08/11/2011	T1	0,5	123,7009	210,87	-70,5%
		08/11/2011	T2	28	6 780,2497	3 983,12	41,3%
08/11/2011		T10	28,2	6 831,8857	4 022,83	41,1%	
Mercredi	09/11/2011	T1	0,5	109,4292	210,15	-92,0%	
	09/11/2011	T2	17,7	4 281,0049	2 826,44	34,0%	
	09/11/2011	T5	18,3	4 418,2880	2 896,89	34,4%	
Jeudi	10/11/2011	T1	15,4	3 727,2298	2 387,12	36,0%	
	10/11/2011	T2	2,8	677,7107	684,14	-0,9%	
	10/11/2011	T4	17,8	4 294,2750	2 748,87	36,0%	
Vendredi	11/11/2011	T1	15,7	3 791,5432	2 656,07	29,9%	
	11/11/2011	T2	3,3	764,0884	722,95	5,4%	
	11/11/2011	T3	12	3 890,0966	2 002,15	48,5%	
Samedi	12/11/2011	T1	0,5	123,3235	194,98	-58,1%	
	12/11/2011	T2	16,9	4 088,2923	2 791,24	31,7%	
	12/11/2011	T4	18,4	4 387,8164	2 936,18	33,1%	
TOTAL		358	87 435,0725	57 708,99	34,0%		

Figure 21 : Comparatif des émissions pour l'individu I1

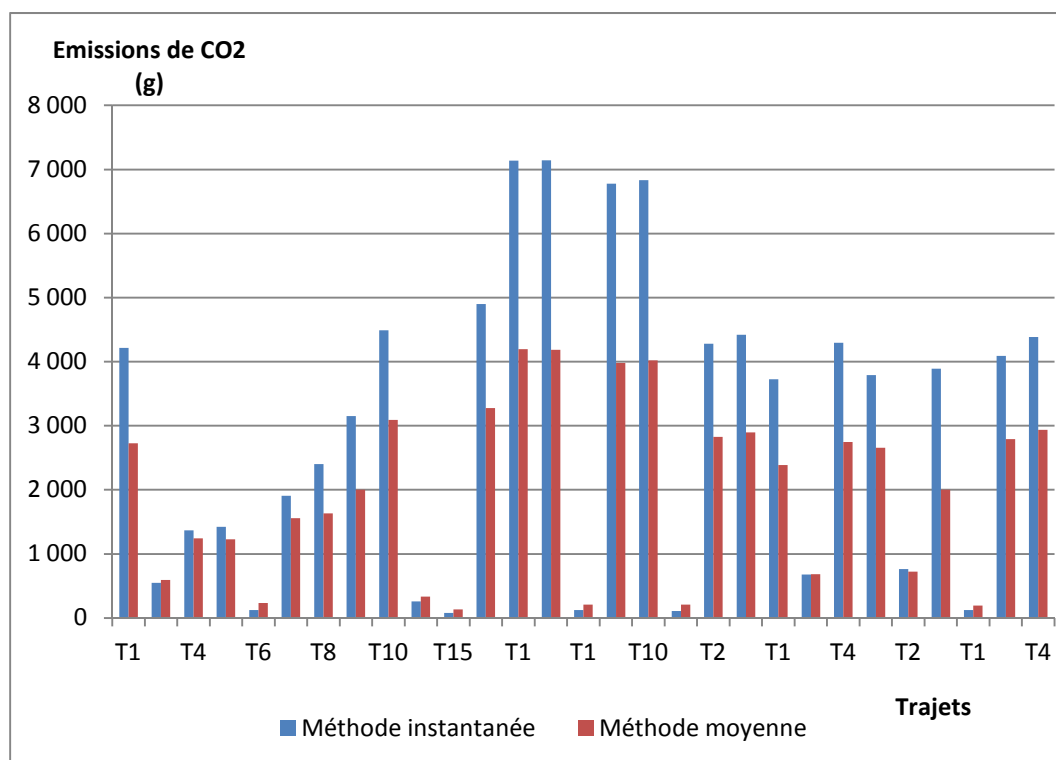


Figure 22 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu I1

Pour ce dernier individu, nous remarquons également des émissions plus importantes, de 34 % cette fois ci.

Pour ces trois individus nous pouvons remarquer que les émissions avec la méthode instantanée sont plus importantes pour les trajets les plus longs. Inversement, pour les trajets les plus courts, c'est la méthode moyenne qui donne des résultats plus importants.

De plus, nous pouvons remarquer que pour des trajets de même distance et temps (T1 du mercredi et T1 du jeudi pour l'individu P5 par exemple) nous obtenons les mêmes valeurs. Ces résultats ne reflètent pas le caractère aléatoire de la conduite, qui ne peut pas être exactement la même d'un trajet à l'autre. De ce point de vue là, la méthode instantanée semble être plus cohérente.

Etant donné que la méthode que nous utilisons est plus fine du fait de la multiplication de petits arcs pour un seul trajet, elle est plus représentative de la réalité. En effet, le fait de prendre une vitesse moyenne pour l'ensemble d'un trajet, fait passer sous silence les différents comportements au niveau de la conduite de l'individu. Nous pouvons donc dire que la méthode instantanée que nous avons utilisé apporte un vrai plus au calcul des émissions de CO₂.

III. La réalité des déplacements et des émissions de CO₂ par rapport à l'éloignement de Tours

Dans cette partie, nous allons voir s'il y a un lien entre l'éloignement du lieu de résidence avec la ville de Tours au niveau des déplacements et des émissions de CO₂ des différents individus.

Tout d'abord, nous allons nous intéresser aux déplacements dans leur globalité :

Individu	Distance par rapport à Tours (km)	Distance parcourue pendant la semaine (km)
F2	4,4	454,51
I1	28	790,26
P5	35	445,26

Figure 23 : Distance parcourue dans la semaine

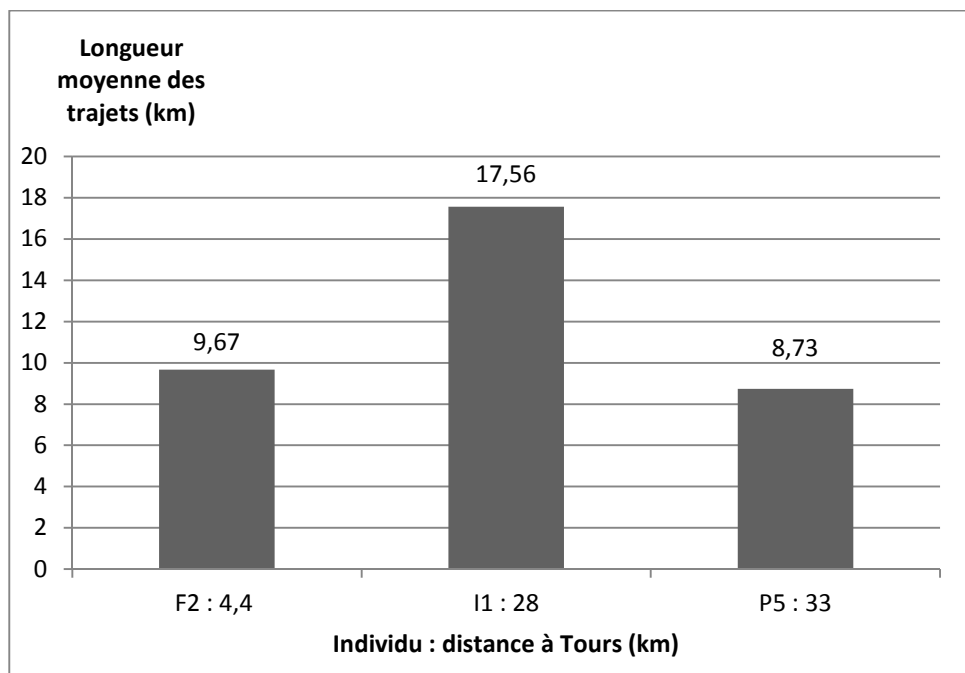


Figure 24 : Histogramme de la longueur moyenne des trajets selon les individus

Nous pouvons observer que les individus P5 et F2 parcourent approximativement la même distance en une semaine : près de 450 kilomètres alors que l'un habite dans le périurbain proche (Saint-Cyr-sur-Loire) et l'autre

dans le périurbain lointain (Sainte-Maure de Touraine). L'individu I1, lui, parcourt 790 kilomètres. Si l'individu I1 se déplace beaucoup, le cas de l'individu P5 va à l'encontre des idées reçues qui disent que les périurbains se déplacent beaucoup. A priori un périurbain lointain ne se déplace pas forcément plus qu'un périurbain proche.

Nous pouvons aussi penser que plus l'éloignement avec Tours est important, plus les trajets se rallongent. Encore une fois, cette logique n'est pas forcément respectée puisque l'on peut observer une longueur des trajets effectués pendant la semaine plus courte pour l'individu I1 que pour l'individu P5

Intéressons nous maintenant aux trajets effectués en voiture :

Individu	Distance par rapport à Tours (km)	Nombre de trajets en voiture
F2	4,4	32
I1	28	29
P5	35	22

Figure 25 : Part des trajets effectués en voiture

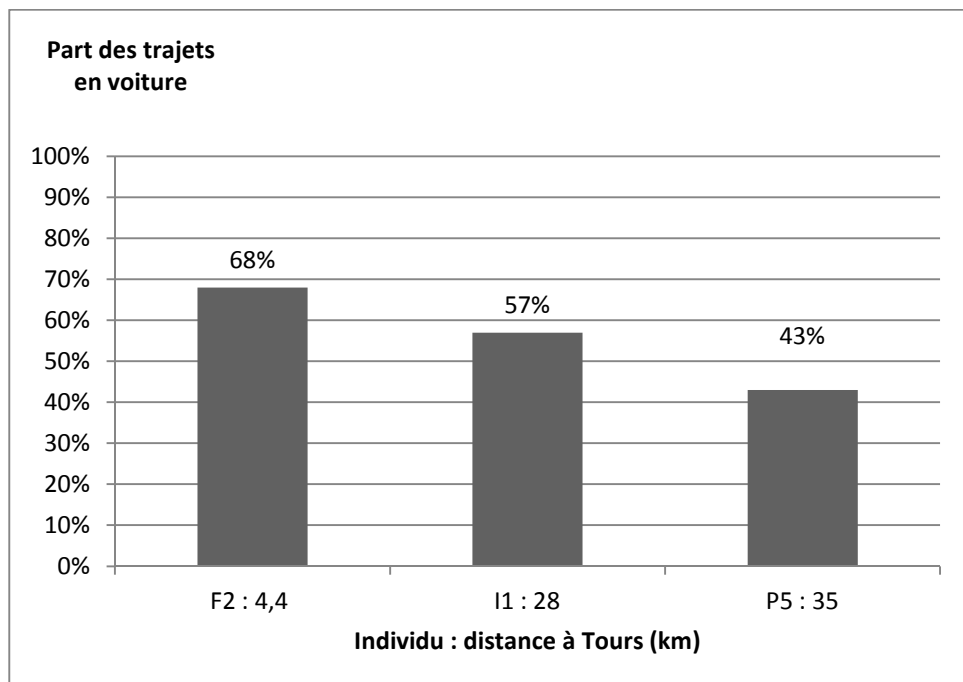


Figure 26 : Histogramme de la part des trajets effectués en voiture

Ces résultats sont révélateurs du choix de mode de déplacement. Nous pouvons voir qu'un individu habitant dans le périurbain lointain aura tendance à moins utiliser sa voiture contrairement à un périurbain proche (très proche dans notre exemple). En effet, seulement 43 % des trajets sont effectués en voitures par l'individu P5, 57 % pour l'individu I1 contre 68 % pour l'individu F2.

Individu	Distance par rapport à Tours (km)	Distance parcourue en voiture (km)	Distance moyenne parcourue en voiture (km)
F2	4,4	208,07	6,50
I1	28	358	12,34
P5	35	86,6	3,94

Figure 27 : Longueur moyenne des trajets effectués en voiture

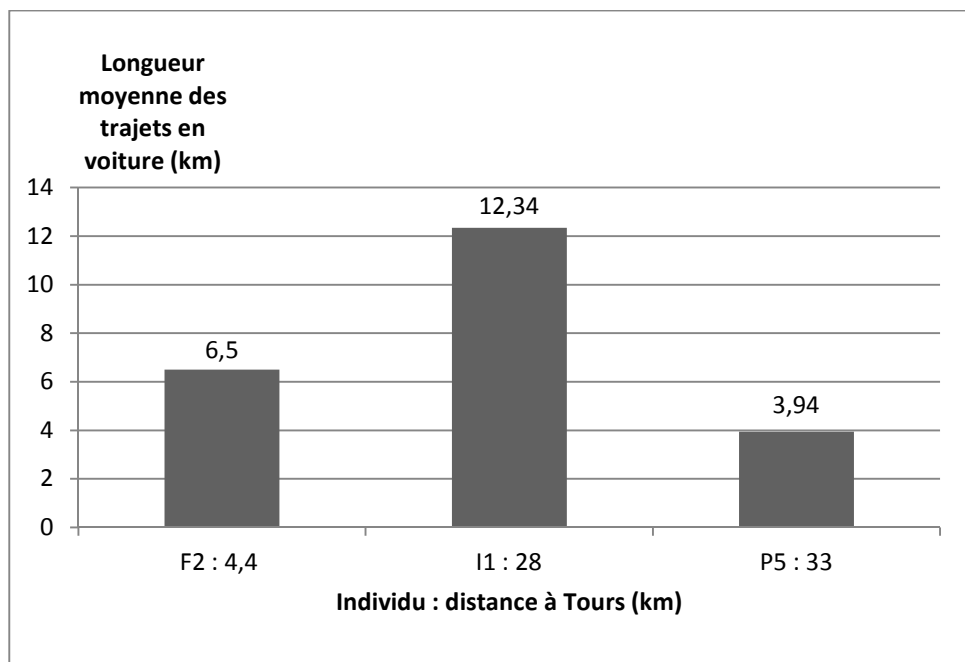


Figure 28 : Histogramme de la longueur moyenne des trajets effectués en voiture

Nous pouvons voir que périurbain lointain ne rime pas forcément avec longueur de trajet importante. Dans notre cas la longueur des trajets effectués en voiture est 2 fois moins importante pour l'individu P5 par rapport à l'individu F2. Cela peut s'expliquer par le fait que les déplacements les plus importants (les déplacements domicile-travail entre sainte-Maure de Touraine et Tours) ne sont pas effectués en voiture mais en transports en commun. En revanche, si les long

trajets ne sont pas effectués en transports en commun la longueur moyenne des trajets est en effet supérieure pour les habitants du périurbain.

Observons maintenant les émissions de CO₂ (CO₂ + équivalent CO₂ pour les NO_x) :

Individu	Distance par rapport à Tours (km)	Emissions de CO ₂ (g)
F2	4,4	56 114, 29
I1	28	91 561,62
P5	35	35 199,03

Figure 29 : Emissions de CO₂ pour les trajets effectués en voiture

Ici, nous pouvons voir que les émissions de CO₂ sont plus importantes pour l'individu P5 que celui l'individu F2. Pourtant ces deux individus parcourent quasiment la même distance en une semaine. Cette différence s'explique donc par le mode de transport choisi pour effectuer ces déplacements. Pour l'individu qui habite dans le périurbain lointain et qui effectue une large part de ses trajets en voiture, les émissions de CO₂ sont plus importantes que pour les autres individus.

Maintenant, comparons les émissions de CO₂ en fonction des kilomètres parcourus :

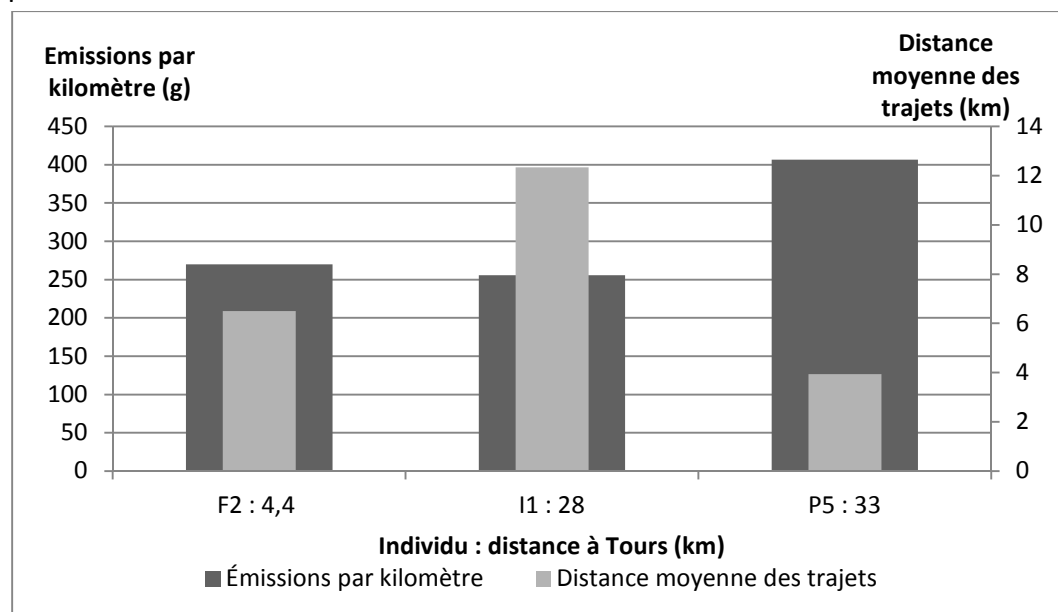


Figure 30 : Histogramme des émissions par kilomètres et des distances moyennes des trajets

Nous pouvons voir ici le lien entre la distance des trajets et les émissions de CO₂. En effet, plus la longueur des trajets augmente, plus la quantité de CO₂ émise par kilomètre est faible. Cela met en avant le fait que rouler avec un moteur froid sur des petites distances émet davantage.

Concernant l'individu P5 qui réside dans le périurbain lointain, la majorité de ses déplacements concernent des déplacements domicile-travail (plus précisément domicile-lieu pour prendre le transport en commun pour aller au travail). Les déplacements effectués pour des achats ou la gestion du ménage sont quasiment regroupés sur un seul jour de la semaine (le samedi).

L'individu I1, habite dans le périurbain lointain se déplace quotidiennement en voiture pour se rendre à son lieu de travail. Par contre, ses déplacements concernant les achats sont regroupés sur une seule journée (le vendredi en fin d'après midi).

Pour l'individu F2, qui habite le périurbain proche, se déplace quasiment exclusivement en voiture. Les activités concernant les achats ou la gestion du ménage sont présentes plusieurs jours de la semaine. Le fait d'habiter à proximité de Tour, et donc des lieux d'achats incite donc à s'y rendre plus régulièrement.

En conclusion, nous pouvons dire que l'éloignement de la ville centre qui est aussi dans notre cas le lieu de travail ne se traduit pas forcément des déplacements effectués en voiture plus importants. Nous pouvons aussi observer que les « activités » autres que les déplacements domicile-travail (les achats notamment) sont moins fréquentes dans le périurbain lointain. Nous pouvons dire que ces sorties sont optimisées en étant regroupées en une seule fois. Nous pouvons donc dire que les comportements individuels semblent primer sur la localisation des individus.

Conclusion

Cet exercice qu'est le PFE nous a permis de remettre en question le périurbain et les affirmations qui sont souvent émises sur celui-ci notamment au niveau des émissions de polluant qu'il génère lors des déplacements.

Dans un premier temps nous avons cherché à comprendre l'apparition de cet espace caractéristique. Nous avons pu voir qu'il était apparu en lien avec le développement de l'automobile mais aussi du fait de certaines politiques publiques qui ont encouragé l'accession à la propriété. Cet espace est donc devenu un lieu où des modes de vies se sont développés principalement construits autour de l'automobile, outil essentiel de cet exode.

Aujourd'hui, l'utilisation de celle-ci est remise en cause dans le cas des périurbains dans le sens où elle serait fortement émettrice de CO₂ et autres polluants. Mais qu'en est-il vraiment ? Une autre question que nous nous posons est plutôt d'ordre méthodologique. Est-ce qu'une mesure plus fine des émissions est plus représentative de la réalité ?

Nous avons donc présenté dans une seconde partie la méthodologie que nous allons utiliser pour quantifier ces émissions de polluants. Pour cela, la mise en place d'un outil de calcul a été nécessaire. Dans l'idée, il était prévu d'automatiser ces outils. Cette automatisation a été engagée mais reste cependant à finaliser. Les calculs ont donc été effectués manuellement pour certains individus. Bien évidemment, les résultats et interprétations avancées dans ce PFE sont à mettre en perspective au vu de l'échantillon pour lequel les calculs ont été effectués. Mais il a d'ores et déjà permis d'en tirer certaines conclusions

Nous avons pu voir à travers les résultats qu'il n'est pas si simple d'affirmer que plus on s'éloigne de Tours, plus les émissions de CO₂ sont importantes. En effet, plus que la distance par rapport au lieu de travail, ce sont les comportements individuels et notamment l'organisation de l'agenda (regroupement des activités pour les habitants du périurbain par exemple) qui sont responsables des émissions de CO₂ de chacun.

Bibliographie

Ouvrages :

ANDRE Michel, HASSEL Dieter, WEBER Franz-Josef, *Short and reference European driving cycles, for the inspection of in-use cars, as regards their pollutant emissions and energy consumption*, INRETS, INRETS Report , EN9809, 1998

BAILLEUL Hélène, FEILDEL Benoît, MARTOUZET Denis, *Les justifications de la mobilité périurbaine : mise à l'épreuve de la durabilité dans un espace intermédiaire*, novembre 2010

CADENE Philippe, *Dynamics of peri-urban areas: from the french case to the developing countries*, in Dupont V. (ed), *Peri-urban dynamics: population, habitat and environment on the peripheries of large indian metropolises. A review of concepts and genral issues*, CSH, Occasional Paper n° 14, pp. 72-96, 2005

CHOAY Françoise, MERLIN Pierre, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Presses Universitaires de France, 2010

DEZERT Bernard, METTON Alain, STEINBERG Jean, *La périurbanisation en France*, SEDES, Paris, 1991

European Energy Agency , *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidbook*, 2009, mis à jour en mai 2012

JAILLET Marie-Christine, *L'espace périurbain : un univers pour les classes moyennes*, Esprit, mars 2004

LEVY Jacques, LUSSAULT Michel, *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, 2003

PIRON Olivier, *Comprendre le phénomène périurbain*, 2004

POTIER Françoise, *Le périurbain – Quelle connaissance ? Quelles approches ?*, INRETS, avril 2007

RAUX Charles, TRAISNEL Jean Pierre, « Habitat et déplacement dans les aires urbaines. Impacts énergétiques et environnementaux de la croissance périurbaine », *Les Annales de la recherche urbaine*, n°103, 2007, pp.30-41

SAJOUS Patricia, *Habiter en espace périurbain et usages de la voiture*, Centre de recherche sur les réseaux, l'industrie et l'aménagement, 2004

Pages internet :

Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, www.ademe.fr

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie,
<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements,
<http://www.setra.equipement.gouv.fr>

Statistiques locales, INSEE, www.insee.fr

Table des matières

Sommaire	5
Introduction.....	7
Partie 1 : Qu'est ce que le périurbain ?	8
I. L'émergence d'une nouvelle organisation des territoires	8
❖ Une organisation spécifique de l'espace autour des villes	8
❖ Une organisation orientée par les politiques publiques	10
II. Le périurbain : entre choix de vie et contrainte	12
❖ La volonté de devenir propriétaire.....	12
❖ ... dictée par le prix du foncier	12
III. La mobilité dans le périurbain	14
❖ Une politique reposant sur l'automobile	14
❖ Un mode de déplacement devenu incontournable	14
❖ Un mode de vie dicté par l'utilisation de la voiture	15
IV. Le périurbain aujourd'hui, une remise en question ?	16
❖ Une évolution de la mobilité	16
❖ Un périurbain sujet à controverse.....	18
V. Formulation de la problématique.....	19
❖ Problématique	19
❖ Hypothèses	19
Partie 2 : Calcul des émissions GES dans le périurbain tourangeau dues à la mobilité.....	21
I. Les méthodes existantes : explications et limites	21
❖ Une méthode macroscopique	22
❖ Une méthode par situation de trafic.....	24
❖ Un outil à mi-chemin entre macroscopique et instantané	25
II. La création d'un outil spécifique	27
❖ PériVia.....	27
❖ Explication de la méthode utilisée	29

Calcul des émissions à chaud.....	31
Calcul des émissions à froid.....	32
Calcul des émissions de CO ₂	34
❖ Présentation de l'échantillon étudié	37
Partie 3 : Exploitation des résultats	39
I. Traitement informatique des données	39
II. Intérêt d'un calcul instantané des émissions	40
III. La réalité des déplacements et des émissions de CO ₂ par rapport à l'éloignement de Tours.....	46
Conclusion	51
Bibliographie	52
Table des matières.....	54
Table des figures.....	56

Table des figures

Figure 1 : Evolution démographiques des espaces périurbains entre 1962 et 2006 (Source : Insee, recensement de la population).....	9
Figure 2 : Schéma d'organisation des territoires.....	10
Figure 3 : Structure des déplacements d'un urbain.....	17
Figure 4 : Structure des déplacements d'un périurbain.....	17
Figure 5 : Projets de recherche et outils européens.....	21
Figure 6 : COPERT et HBEFA.....	22
Figure 7 : Capture d'écran du logiciel COPERT.....	23
Figure 8 : Tableau récapitulatif des différentes méthodes.....	25
Figure 9 : Liste des participants à l'enquête.....	28
Figure 10 : Extrait des traces GPS de l'individu F2.....	30
Figure 11 : Tableau donnant les différents coefficients.....	32
Figure 12 : Tableau permettant de calculer eCOLDeHOT.....	33
Figure 13 : Tableau donnant les différentes valeurs des ratios pour différents carburants.....	34
Figure 14 : Tableur pour le calcul des émissions des différents polluants.....	35
Figure 15 : Tableau récapitulatif des émissions de l'individu F2.....	36
Figure 16 : Tableau des individus étudiés.....	37
Figure 17 : Comparatif des émissions de CO2 pour l'individu F2.....	41
Figure 18 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu F2.....	42
Figure 19 : Comparatif des émissions pour l'individu P5.....	42
Figure 20 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu P5.....	43
Figure 21 : Comparatif des émissions pour l'individu I1.....	43
Figure 22 : Histogramme des émissions de CO2 selon la méthode choisie pour l'individu I1.....	44
Figure 23 : Distance parcourue dans la semaine.....	46
Figure 24 : Histogramme de la longueur moyenne des trajets selon les individus.....	46
Figure 25 : Part des trajets effectués en voiture.....	47
Figure 26 : Histogramme de la part des trajets effectués en voiture.....	47
Figure 27 : Longueur moyenne des trajets effectués en voiture.....	48
Figure 28 : Histogramme de la longueur moyenne des trajets effectués en voiture	48
Figure 29 : Emissions de CO2 pour les trajets effectués en voiture.....	49
Figure 30 : Histogramme des émissions par kilomètres et des distances moyennes des trajets.....	49

CITERES

*UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés*

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



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

Directeur de recherche :
FEILDEL Benoît

HOUËK Adrien
Projet de Fin d'Etudes
DAS
2012-2013

Titre :

**Les déplacements des périurbains dictés par l'organisation des territoires.
Elaboration d'un outil de calcul des émissions de CO₂**

Résumé :

Aujourd'hui la périurbanisation et les effets qu'elle engendre sont au centre des préoccupations. En effet, dans cet espace beaucoup de déplacements s'effectuent en voiture, ce qui va à l'encontre des principes de développement durable qui tend à favoriser l'utilisation des transports en communs.

Ce PFE est l'occasion de vérifier ces affirmations grâce à la mise en place d'un outil de calcul basé sur les relevés GPS de plusieurs individus du périurbain tourangeau effectués lors du projet de recherche PériVia. Par les résultats que nous obtiendrons, nous pourrons comparer les différents individus et ainsi vérifier le fait que périurbain rime avec de fortes émissions de CO₂.

Mots Clés : périurbain, émissions de CO₂, mobilité, déplacements, mode de vie

Terrain d'étude : périurbain de Tours, Indre-et-Loire (37), Centre