

# Indicateur de marchabilité en Île-de-France : un outil de diagnostic du territoire

JANVIER 2018



Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement Île-de-France

[www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr](http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr)



PRÉFET  
DE LA RÉGION  
D'ÎLE-DE-FRANCE

## Résumé

Cette étude répond à un besoin de l'Agence régionale de santé d'Île-de-France (ARS) qui souhaite explorer les liens entre l'environnement urbain, la pratique de la marche-à-pied et la santé ; partant du constat qu'il existe un lien entre le diabète de type 2 et la sédentarité des personnes (Apur, ARS, 2015). Le présent rapport se concentre sur le lien entre les caractéristiques spatiales d'un territoire et la pratique de la marche par ses résidents sur ce même territoire.

Pour ce faire, la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement d'Île-de-France (DRIEA) a élaboré un indicateur de marchabilité à partir des observations de l'Enquête globale transport de 2010 (EGT 2010) et de données géolocalisées pour caractériser le territoire à une échelle fine (carroyage de 400 m) notamment en termes d'occupation du sol et de connectivité du réseau viaire. L'indicateur ainsi construit au travers d'un modèle de régression linéaire est décliné selon trois classes d'âge afin de prendre en compte les différences de comportements de mobilité observées dans l'EGT.

Les résultats montrent que si ce lien est bien réel, il ne peut expliquer à lui seul la pratique de la marche et l'amélioration de marchabilité d'un territoire ne constitue qu'un levier parmi d'autres. Après avoir recensé et analysé les variables disponibles et exploitables dans le cadre de cette étude, il en ressort que la longueur des trottoirs, la diversité des équipements et services et la surface de végétation sont des facteurs explicatifs déterminants de l'indicateur de marchabilité.

L'indicateur produit par la DRIEA a vocation à être utilisé comme un outil qualitatif d'aide à la décision pour les aménageurs franciliens, à l'échelle d'une commune par exemple. Dans un premier temps, il sera utilisé par l'ARS pour étudier des territoires cibles présentant une forte prévalence de diabète de type 2 ainsi qu'un indice de développement humain inférieur à un certain seuil. Ensuite, il pourra servir à toute étude de mobilité à l'échelle d'un territoire.

### **Auteurs :**

- Justine Song,
- Eloïse Blazy,
- Marc Eloy

### **Coordination :**

Nicolas Michelot DRIEA / SCEP/ DPAT

### **Crédit photos :**

- DRIEA / Gauthier
- DRIEA / Guiho
- DRIEA / Seng

**Contact :** [scep.driea-if@developpement-durable.gouv.fr](mailto:scep.driea-if@developpement-durable.gouv.fr)

## SOMMAIRE

<b>Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Construction de l'indicateur de marchabilité.....</b>	<b>7</b>
1.1. Les caractéristiques de l'indicateur de marchabilité.....	7
1.2. Préparation des données et choix des variables spatiales.....	8
1.3. Quel lien entre la pratique de la marche et les caractéristiques spatiales ?.....	10
<b>2. Une notion de marchabilité contrastée selon l'âge des résidents.....</b>	<b>13</b>
2.1. Résultats pour les personnes âgées de 5 ans à 18 ans.....	13
2.2. Résultats pour les personnes âgées de 18 ans à 65 ans.....	15
2.3. Résultats pour les personnes âgées de plus de 65 ans.....	17
2.4. Bilan.....	18
<b>3. À l'échelle locale : un outil de diagnostic.....</b>	<b>19</b>
3.1. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés de 5 ans à 18 ans...	19
3.2. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés 18 ans à 65 ans.....	20
3.3. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés plus de 65 ans.....	21
3.4. Bilan.....	21
<b>Conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>24</b>
<b>Annexe 1 : Présentation de l'EGT 2010.....</b>	<b>28</b>
<b>Annexe 2 : Méthodologie et construction de l'indicateur de marchabilité.....</b>	<b>30</b>
<b>Annexe 3 : Détail méthodologique sur l'élaboration du modèle.....</b>	<b>46</b>
<b>Annexe 4 : Corrélations entre les variables spatiales et la marche.....</b>	<b>48</b>

## Index des tableaux

Tableau 1 : Description des variables spatiales retenues.....	9
Tableau 2 : Influence des variables spatiales sur l'indicateur de marchabilité.....	11
Tableau 3 : Équipements pris en compte pour quantifier la diversité des équipements.....	34
Tableau 4 : Variables du Mos liées à la végétation et utilisées dans l'étude.....	36
Tableau 5 : Récapitulatif des données disponibles pour les caractéristiques spatiales.....	39
Tableau 6 : R <sup>2</sup> ajusté et résultat du test de Fisher.....	41
Tableau 7 : Résultats de l'estimation des coefficients.....	43
Tableau 8 : Tables de Person.....	48

## Index des illustrations

Figure 1 : De l'approche santé à la marchabilité - le périmètre de l'étude.....	6
Figure 2: Comparaison des indicateurs de marchabilité pour les Franciliens de 5 à 18 ans (à gauche), de 18 à 65 ans (au centre), et plus de 65 ans (à droite).....	13
Figure 3 : Indicateur de marchabilité (IM) pour les Franciliens de 5 ans à 18 ans.....	14
Figure 4 : La longueur des trottoirs est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de 5 ans à 18 ans.....	14
Figure 5 : Indicateur de marchabilité pour les Franciliens de 18 ans à 65 ans.....	16
Figure 6 : La vitesse limite de 30 km/h est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de 18 ans à 65 ans.....	16
Figure 7 : Indicateur de marchabilité pour les Franciliens de plus de 65 ans.....	17
Figure 8 : La végétation est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de plus de 65 ans.....	18
Figure 9 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les 5-18 ans (La Courneuve).....	19
Figure 10 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les 18-65 ans (La Courneuve).	20
Figure 11 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les plus de 65 ans (La Courneuve).....	21
Figure 12 : Carroyage de 400 m.....	31
Figure 13 : Processus de choix des variables spatiales.....	40

# Introduction

Le terme de marchabilité vient de l'expression anglophone « walkability ». Il peut être défini comme la capacité d'un territoire à susciter la pratique de la marche.

Différents travaux sur la marche ont déjà été menés, parmi lesquels figurent des études des unités départementales de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne de la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement d'Île-de-France (DRIEA). Ces études consistent en la réalisation d'isochrones de marche autour d'arrêts de transport en commun grâce à l'outil cartographique « ZAP » (zone d'accessibilité à pied) développé par le Cerema. Elles ont pu rendre compte de l'enjeu social inhérent aux transports en commun, à savoir, le rapprochement temporel entre des quartiers favorisés d'un point de vue urbain (nombreuses aménités par exemple) et des quartiers plus démunis.

L'étude présentée dans ce rapport se place dans un contexte différent en abordant la thématique croisée « marchabilité et santé » dans le cadre d'un projet plus large de partenariat avec l'Agence régionale de santé d'Île-de-France (ARS). En Île-de-France, les déplacements constituent la principale source d'activité physique – 37,9 % en durée pour les déplacements contre 25,3 % lors des loisirs d'après le Baromètre santé nutrition (BSN) 2008<sup>1</sup>. En particulier, on constate qu'en moyenne, un Francilien marche environ 19 minutes par jour (BSN 2008). Ce résultat met en évidence un enjeu en matière de santé pour les pouvoirs publics qui souhaitent lutter contre la sédentarité.

Dans la littérature scientifique, de nombreux articles abordent la question de la marchabilité en établissant les liens entre des caractéristiques spatiales et la pratique de la marche – ou parfois, plus largement, l'activité physique. Le premier constat est que le concept de marchabilité est un objet complexe qui peut être abordé sous de multiples angles.

Saelens et Handy (2008) proposent un panorama intéressant des études réalisées sur le sujet en montrant la diversité des approches. Ainsi, la marche en tant que moyen de transport ne peut être analysée de la même façon que la marche récréative. De plus, la pratique de la marche peut, par exemple, être quantifiée à partir du nombre de déplacements marchés, d'une durée ou encore comme un événement qui se produirait ou pas sur une certaine période de temps.

Les données sur la pratique de la marche peuvent provenir d'enquêtes ménages déplacements (Chatalic, 2012 ; Tran et al., 2014), du recensement (Mayne et al., 2013) – sources dont le but premier n'est pas d'étudier la marche – ou de dispositifs de mesure portés par les personnes enquêtées (GPS, accéléromètres, etc.) ; protocole par exemple mis en œuvre dans le projet RECORD<sup>2</sup> conduit par l'Inserm, l'Université Pierre et Marie Curie, le Centre d'investigations préventives et cliniques et l'Université de Montréal.

En ce qui concerne la partie aménagement et morphologie urbaine, les territoires étudiés peuvent être décrits soit par des mesures dites « objectives », par exemple via l'exploitation de données cartographiques (Frank et al., 2009), soit par des mesures perçues en interrogeant les résidents (Zuniga-Teran et al., 2017).

---

<sup>1</sup> Le Baromètre santé nutrition est un dispositif d'enquête national conduit par l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES) et décliné à l'échelle régionale dans certaines régions dont l'Île-de-France.

<sup>2</sup> Le projet RECORD a pour objectif de décrire les disparités sociales et spatiales de santé et de comprendre les effets des environnements géographiques de vie sur la santé des Franciliens

L'outil développé pour l'étude partenariale avec l'ARS a pour objectif de caractériser le territoire francilien en fonction de sa marchabilité, exprimée sur une maille fine et en se limitant à la marche comme moyen de transport.

L'hypothèse de départ est que les caractéristiques spatiales influencent la pratique de la marche. La modélisation d'un indicateur de marchabilité à partir de données objectives doit permettre de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse de travail. Pourquoi avoir choisi de restreindre l'étude aux caractéristiques spatiales ? Car ce paramètre a été identifié comme un levier d'action pour les aménageurs du territoire qui souhaitent agir pour rendre l'environnement urbain plus propice à la pratique de la marche.

Le but de cette expérimentation n'est donc pas de prendre en compte des paramètres sociodémographiques (catégorie socio-professionnelle des personnes par exemple) ni de se focaliser sur l'activité physique de loisirs des personnes, qui seraient pourtant pertinents pour une étude en lien avec la santé. D'autres études ont porté sur la construction d'un indicateur de marchabilité combinant des variables sociodémographiques et des variables spatiales (Chatalic, 2012 ; Frank et al., 2005) mais elles ont été réalisées sur des périmètres moins vastes que l'Île-de-France.

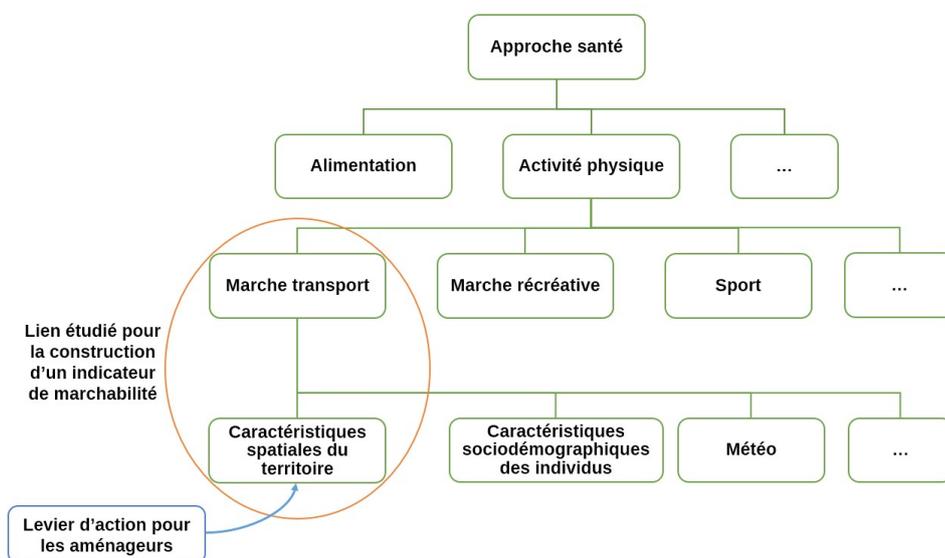


Figure 1 : De l'approche santé à la marchabilité - le périmètre de l'étude

Ce rapport d'étude présente, dans un premier temps, la méthodologie mise en œuvre pour modéliser un indicateur de marchabilité à partir des données de l'Enquête globale transport de 2010 (EGT, présentée dans l'annexe 1) et des bases de données cartographiques dont dispose la DRIEA. Les résultats sont ensuite analysés de façon quantitative et qualitative grâce à la représentation cartographique de l'indicateur de marchabilité, que ce soit à l'échelle régionale ou à l'échelle locale.

# 1. Construction de l'indicateur de marchabilité<sup>3</sup>

## 1.1. Les caractéristiques de l'indicateur de marchabilité

Les caractéristiques de l'indicateur de marchabilité ont été définies conjointement avec l'ARS, puisque l'objectif final de ce travail est de pouvoir fournir à l'ARS un outil de diagnostic pour des territoires où il existe des enjeux sanitaires – territoires à forte prévalence de diabète de type 2 par exemple. Elles tiennent compte des considérations suivantes.

L'indicateur de marchabilité doit pouvoir être applicable sur l'ensemble de la région Île-de-France, champ d'action de la DRIEA et de l'ARS, tout en étant exprimé sur une maille fine (carroyage de 400 m de côté) pour permettre des analyses à l'échelle d'une commune par exemple. De plus, les résultats doivent pouvoir être représentés sous forme cartographique afin de faciliter leur exploitation.

Dans la littérature, la plupart des indicateurs de marchabilité sont construits à partir de variables spatiales pondérées a priori ou alors en testant différentes combinaisons de coefficients et en choisissant celle qui explique le mieux la pratique de la marche ou l'activité physique (Frank et al., 2005).

À l'inverse, on prend ici le parti d'essayer d'estimer les coefficients des paramètres par régression linéaire. L'indicateur de marchabilité est donc construit à partir de l'estimation d'un modèle qui vise à expliquer le mieux possible la pratique de la marche depuis ou vers le lieu du domicile en fonction des caractéristiques spatiales du quartier de résidence (voir l'annexe 3 pour plus d'explications sur les travaux de modélisation).

De plus, l'indicateur est calculé en fonction de l'âge des individus car les caractéristiques spatiales d'un même territoire peuvent influencer différemment les pratiques de mobilité de ses résidents selon leur âge. On distingue donc trois classes d'âge : les moins de 18 ans, les plus de 65 ans et la catégorie intermédiaire. Il serait intéressant d'étudier d'autres segmentations, comme les catégories socio-professionnelles par exemple mais ces données ne sont malheureusement pas disponibles à une échelle aussi fine. L'utilisation d'une typologie du territoire francilien et la construction d'un indicateur de marchabilité pour chaque type permettrait de résoudre en partie ce problème, en supposant que les territoires sont suffisamment homogènes.

Dans la suite du rapport, par souci de simplification, le terme « marche » désigne la marche comme moyen de transport pour se rendre d'un endroit à un autre, ce qui exclut notamment la marche récréative ou encore les tournées professionnelles.

---

<sup>3</sup> L'annexe 2 présente en détail la méthodologie mise en œuvre pour construire l'indicateur de marchabilité

## 1.2. Préparation des données et choix des variables spatiales

Deux tâches ont été effectuées en parallèle pour préparer les données nécessaires :

- d'une part, l'exploitation de l'Enquête globale transport (EGT) de 2010<sup>4</sup> qui fournit des données observées sur les pratiques de marche des Franciliens,
- et d'autre part, l'exploitation de différentes bases de données, notamment SIG (système d'information géographique), pour caractériser l'environnement urbain autour du lieu de résidence.

La variable retenue pour quantifier la pratique de la marche est le budget-temps transport de marche depuis ou vers le lieu du domicile. Autrement dit, cela correspond aux déplacements ou trajets en connexion avec le domicile. Cette grandeur, notée  $BT_{\text{marche}}$ , s'exprime comme la durée totale de marche par individu sur un jour moyen de semaine.

Bien que l'ensemble des déplacements et des trajets ont bien été pris en compte, il est toutefois important de garder à l'esprit le caractère approximatif de cette grandeur dans l'EGT. Par exemple, les durées des déplacements sont reconstituées à partir des heures de départ et d'arrivée déclarées par la personne enquêtée.

Le choix des variables spatiales à tester dans le modèle résulte d'un processus dont le point de départ est constitué par les résultats trouvés dans la littérature scientifique et la disponibilité des données à l'échelle du carroyage et sur toute l'Île-de-France. Le Tableau 5 de l'annexe 2 indique l'ensemble des variables identifiées comme disponibles et exploitées lors de la phase exploratoire de cette étude.

Parmi toutes ces variables, seules huit ont finalement été retenues pour l'estimation du modèle qui a permis de construire l'indicateur de marchabilité. Leur description est présentée dans le Tableau 1.

On peut remarquer que ces variables sont de nature quantitative et ne permettent pas d'apprécier l'aspect qualitatif de l'environnement urbain. Par exemple, le projet MAPISE du programme PREDIT (2014) a mis en évidence que l'aménagement des traversées piétonnes et la qualité des trottoirs sont des points cruciaux pour la marchabilité des seniors (longueur des traversées, absence d'encombrement sur les trottoirs, type de matériau et qualité des revêtements des trottoirs).

---

<sup>4</sup> Voir l'annexe 1 pour une présentation de l'EGT 2010.

Variables spatiales	Description	Sources
Diversité des équipements	Permet de prendre en compte l'intensité urbaine d'un territoire. Chaque carreau se voit attribuer une note qui varie en fonction de la diversité des équipements ; la note maximale théorique correspondant au cas où il existe au moins un équipement de chaque catégorie.	BD Topo 2014 de l'IGN, Éducation Nationale et l'Onisep
Nb gares TC	Représente la desserte en transport en commun. Pour chaque carreau : - calcul du nombre d'arrêts de tramway, métro, RER ou Transilien - calcul du nombre d'arrêts de bus	Base sur le réseau et l'offre TC, Stif, 2014
Nb arrêts bus		
Surface de végétation du Mos	Le Mos est un atlas cartographique réalisé par l'IAU et qui permet de qualifier l'occupation du sol en Île-de-France. La variable est ici calculée comme la somme des surfaces de forêts, de milieux semi-naturels et d'espaces ouverts artificialisés (voir le de l'annexe 2 pour plus de détail sur la définition de ces catégories).	Mos 2012 de l'IAU
Longueur des trottoirs	Représente la connectivité du réseau viaire. Un réseau finement maillé a tendance à encourager les déplacements piétonniers car en principe ils permettent d'effectuer des trajets plus courts et donc plus efficaces. Toutefois, une connectivité trop importante peut avoir l'effet inverse sur la marche car elle peut conduire à une complexification des cheminements piétons, notamment en termes d'orientation. Il n'existe pas de base de données qui recense de façon exhaustive les trottoirs en Île-de-France. L'exploitation de la BD Topo 2014 a permis d'estimer de façon approximative la longueur des trottoirs pour chaque carreau. Cette variable a été obtenue en sommant la longueur totale des tronçons de toutes les voies de communication, hormis les routes à caractère autoroutier. Une limite de l'utilisation de cette variable pour quantifier la connectivité du réseau viaire est qu'elle ne permet pas d'isoler directement les impasses, les voies privées, etc. Or, ce type de rue a plutôt tendance à dégrader le caractère marchable d'un quartier (Héran et Pouillaude, 2009).	BD Topo 2014 de l'IGN
Vitesse maximale à 50 km/h	La base Navteq/Here indique la vitesse limite autorisée sur chaque tronçon de route. La vitesse maximale (resp. minimale) correspond au maximum (resp. minimum) des vitesses renseignées sur les tronçons de route de chaque carreau. - Dans un carreau, si la vitesse maximale est inférieure ou égale à 50 km/h alors la variable « vitesse maximale à 50 km/h » vaut 1 ; elle vaut 0 dans les autres cas. Cette variable permet d'identifier les carreaux qui ne sont pas traversés par des voies rapides. - Dans un carreau, si la vitesse minimale est inférieure ou égale à 30 km/h alors la variable « vitesse minimale à 30 km/h » vaut 1 ; elle vaut 0 dans les autres cas. Cette variable permet notamment d'identifier les carreaux où ont été mises en place des zones 30 ou des zones de rencontre.	Navteq/Here 2014
Vitesse minimale à 30 km/h		
Distance au centre	La variable distance au centre de Paris a été identifiée car elle présente l'avantage de pouvoir être calculée facilement à partir d'un logiciel SIG : elle représente la distance qui sépare le point central du parvis de Notre-Dame et le centre du carreau. Cette variable rend compte du caractère mono-centrique de la région Île-de-France, notamment en termes de densité. Elle devrait permettre d'introduire dans le modèle une approche centre-périphérie, telle que suggérée par Chatalic (2012). Toutefois, cette approche reste assez simpliste et ne permet pas de prendre en compte les pôles secondaires. Il serait à terme utile de réaliser un travail plus fin, par exemple en calculant la distance par rapport au pôle de centralité le plus proche.	Calculé par la DRIEA à l'aide d'un logiciel de cartographie

Tableau 1 : Description des variables spatiales retenues

### 1.3. Quel lien entre la pratique de la marche et les caractéristiques spatiales ?

Le premier résultat obtenu est qu'il existe bien un lien entre la pratique de la marche et les caractéristiques spatiales d'un territoire et ce, pour les trois classes d'âge.

Cependant, d'après les résultats du modèle, ce lien est relativement faible puisque l'indicateur de marchabilité obtenu en sommant les variables spatiales pondérées par les coefficients issus de la régression explique seulement 8 % de la variabilité de la pratique de la marche observée dans l'EGT.

Ce résultat est cohérent avec ce que l'on trouve dans la littérature et il s'explique notamment par le fait qu'il serait illusoire de penser que les caractéristiques spatiales d'un territoire suffisent à expliquer la pratique de la marche. Au contraire, de nombreuses autres variables peuvent influencer la marche : variables démographiques, sociales, comportementales, environnementales, sécurité, etc.

Par exemple, Tran et al. (2014) rappellent que les pratiques de mobilité dépendent avant tout des modes de vie et donc des caractéristiques socio-économiques des habitants, comme le revenu, le genre ou la composition familiale.

La segmentation par classe d'âge permet de prendre en compte une partie des effets non captés par les variables spatiales. D'autres segmentations pourraient être testées, notamment portant sur le taux de motorisation ou encore sur le niveau d'éducation puisque les derniers travaux de l'Inserm indiquent que cet aspect est déterminant de la pratique des mobilités actives (projet RECORD).

Sur les huit variables testées, cinq ressortent comme significatives, c'est-à-dire qu'elles ont un effet non nul sur la marche. Ces variables sont constitutives de l'indicateur de marchabilité ainsi créé.

Pour les personnes âgées de 5 à 18 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables surface de végétation, longueur des trottoirs et distance au centre de Paris ;

Pour les personnes âgées de 18 à 65 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables diversité des équipements (présence d'aménités urbaines et diversité des équipements), surface de végétation, vitesse minimale à 30 km/h (indicatrice témoignant de la présence d'une route limitée à 30 km/h) et distance au centre Paris ;

Pour les personnes âgées de plus de 65 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables diversité des équipements (présence d'aménités urbaines et diversité des équipements), surface de végétation et la distance au centre de Paris.

Le Tableau 2 montre l'influence des variables spatiales sur l'indicateur de marchabilité, toutes choses égales par ailleurs. Le sens de variation de l'indicateur de marchabilité dépend de la forme mathématique appliquée à chaque variable spatiale et du signe du coefficient (voir Tableau 7 de l'annexe 2 pour plus de détails).

Conformément à ce qui avait été anticipé, l'indicateur de marchabilité est influencé positivement par la diversité des équipements. De plus, on constate que l'effet sur l'indicateur de marchabilité est non linéaire et qu'il a tendance à s'estomper à partir d'un certain seuil. La longueur des trottoirs et la vitesse sont elles aussi des variables qui réagissent comme prévu, ce qui n'est pas le cas de la surface de végétation et de la distance au centre de Paris.

Pour la surface de végétation, on pourrait s'attendre à une influence positive en milieu urbain, avec par exemple une incitation à marcher lorsqu'il y a un parc dans le carreau de résidence. Inversement, la présence de grands espaces verts tels que des forêts, plutôt situés en périphérie, auraient un effet d'isolement et de baisse de la pratique de la marche pour les personnes qui habitent dans ces espaces. Finalement, l'analyse menée dans le cadre de cette étude montre plutôt que l'indicateur de marchabilité tend à décroître lorsque la surface de végétation augmente.

Si ce résultat peut sembler surprenant, il indique en fait que l'effet d'isolement et l'effet de coupure prennent le pas, à l'échelle de la région, sur l'incitation à marcher que pourrait susciter la présence d'un espace vert. Rappelons que l'indicateur de marchabilité développé dans cette étude ne concerne pas la marche récréative mais uniquement la marche transport comme moyen de déplacement quotidien.

De plus, l'indicateur est donné au niveau du carreau de résidence et son calcul tient compte des déplacements et trajets au départ ou à destination du domicile. Or, l'influence d'un paramètre tel que la végétation devrait être pris en compte sur le long du parcours.

Par ailleurs, ce résultat corrobore ceux de Chatalic (2012) qui a développé un modèle pour caractériser la marchabilité de l'agglomération lyonnaise. L'auteur interprète la marchabilité comme un choix modal piétonnier et le modèle obtenu indique que la couverture végétale influence de façon négative la marchabilité.

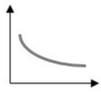
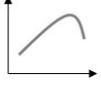
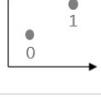
Variabes	Schéma	Influence des variables	Classes d'âge concernées
Diversité des équipements		Plus la diversité des équipements augmente, plus l'indicateur de marchabilité augmente, rapidement au début puis plus lentement au fur et à mesure.	18-65 ans Plus de 65 ans
Surface de végétation du MOS		Plus la surface de végétation augmente, et plus la marchabilité baisse.	5-18 ans 18-65 ans Plus de 65 ans
Longueur des trottoirs		Dans un premier temps, plus la longueur totale des trottoirs augmente et plus la marchabilité augmente puis, à partir d'un certain seuil, la dynamique s'inverse.	5-18 ans
Vitesse min. limitée à 30 km/h		La présence d'une route où la vitesse est limitée à 30 km/h (modalité=1) a tendance à faire augmenter la marchabilité.	18-65 ans
Distance au centre de Paris		Dans un premier temps, la marchabilité diminue lorsque la distance au centre augmente puis, à partir d'un certain seuil, la dynamique s'inverse.	5-18 ans 18-65 ans Plus de 65 ans

Tableau 2 : Influence des variables spatiales sur l'indicateur de marchabilité

Concernant la variable sur la distance au centre de Paris, interprétée comme un gradient de densité en termes de population, de bâti et d'aménités, le postulat de départ était une influence négative de la distance sur la marchabilité. Toutefois l'estimation du modèle conduit à une influence évoluant en forme de cuvette : l'effet d'abord négatif s'inverse à partir d'une certaine distance au centre.

Ce phénomène pourrait indiquer que l'aire d'influence de la métropole parisienne est forte tant que la distance entre le carreau de résidence et le centre de Paris reste en-dessous d'un certain seuil. Puis, le mécanisme centre-périphérie aurait tendance à s'estomper, voire à s'inverser.

Ce résultat est à interpréter avec précaution du fait de la variable étudiée. En effet, par souci de simplification, la distance a été calculée en prenant comme référence uniquement le centre de Paris. Or, il serait plus pertinent de prendre en compte la distance entre le carreau de résidence et le centre-ville le plus proche. Une autre approche possible serait d'introduire la distinction centre-périphérie en utilisant des variables indicatrices qui vaudraient 1 ou 0 selon la localisation du carreau de résidence (zone centrale ou zone périphérique par exemple).

Enfin, l'influence de cette variable est surtout visible sur les cartes à l'échelle régionale (voir section 2) et non sur les cartes représentant les variations de l'indicateur de marchabilité à l'intérieur d'une commune (voir section 3.3), échelle à laquelle l'indicateur a pour vocation de servir d'outil de diagnostic.

## 2. Une notion de marchabilité contrastée selon l'âge des résidents

L'indicateur de marchabilité est calculé sur l'ensemble de l'Île-de-France et pour chaque carreau de 400 m de côté en faisant la somme des paramètres décrivant les caractéristiques spatiales du carreau, pondérés par les coefficients obtenus par régression.

Le résultat est ensuite représenté de façon cartographique pour les trois classes d'âge. Pour chaque classe d'âge, l'indicateur de marchabilité est représenté selon cinq classes de valeurs (dégradé de couleurs allant de « faible » à « fort ») obtenues en calculant des intervalles égaux.

D'après les dernières estimations publiées sur le site internet de l'Insee (résultats arrêtés en 2016), la population francilienne est composée d'environ 26 % de personnes âgées de moins de 20 ans. La classe d'âge principale, de 20 à 64 ans inclus, représente 60 % de la population francilienne tandis que les personnes âgées de 65 ans et plus représentent environ 14 % de la population. Les cartes suivantes (Figure 2) illustrent la variabilité de l'indicateur de marchabilité selon les trois tranches d'âges.

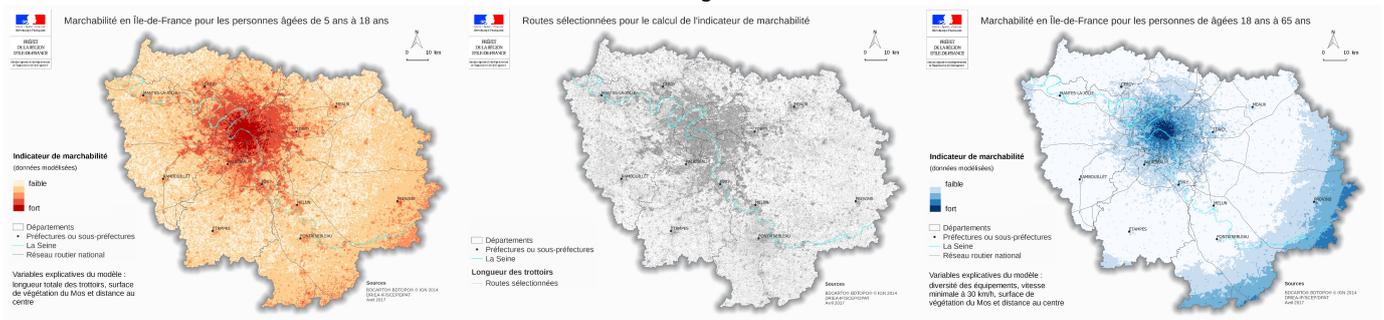


Figure 2 : Comparaison des indicateurs de marchabilité pour les Franciliens de 5 à 18 ans (à gauche), de 18 à 65 ans (au centre), et plus de 65 ans (à droite)

### 2.1. Résultats pour les personnes âgées de 5 ans à 18 ans

Les caractéristiques spatiales des territoires ressortant comme significatives pour influencer sur la pratique de la marche des plus jeunes, c'est-à-dire les personnes âgées de 5 à 18 ans, sont la longueur des trottoirs, la surface de végétation et la distance au centre de Paris.

La Figure 3 représente l'indicateur de marchabilité pour les personnes âgées de 5 à 18 ans. La carte obtenue fait surtout ressortir les zones les plus urbanisées, ce qui s'explique par l'influence positive de la variable « longueur des trottoirs » sur l'indicateur de marchabilité ; les effets négatifs de la longueur des trottoirs à partir d'un certain seuil sont plus difficiles à percevoir dans une analyse cartographique. La comparaison de cette carte avec la représentation des routes qui ont servi au calcul de longueur des trottoirs (Figure 4) montre en effet de fortes ressemblances. Rappelons aussi que cette variable n'est présente que pour l'indicateur de marchabilité de cette classe d'âge.

Ainsi, il semble que la longueur totale des trottoirs soit le paramètre le plus influent pour les personnes âgées de 5 à 18 ans, tandis que l'effet négatif de la surface de végétation est peu visible par rapport à ce que l'on constate sur la carte régionale pour les personnes de plus de 65 ans (Figure 7).

On observe également une certaine influence de la variable « distance au centre de Paris », notamment sur l'extrémité est et sud-est de la région où l'indicateur de marchabilité semble augmenter. Ce résultat est à interpréter avec prudence compte tenu des limites déjà évoquées.

Rappelons que si cette variable ressort comme statistiquement significative lors de la construction de l'indicateur et présente un degré de corrélation non négligeable avec la pratique de la marche, on peut s'interroger sur son niveau de pertinence pour les zones très éloignées de Paris.

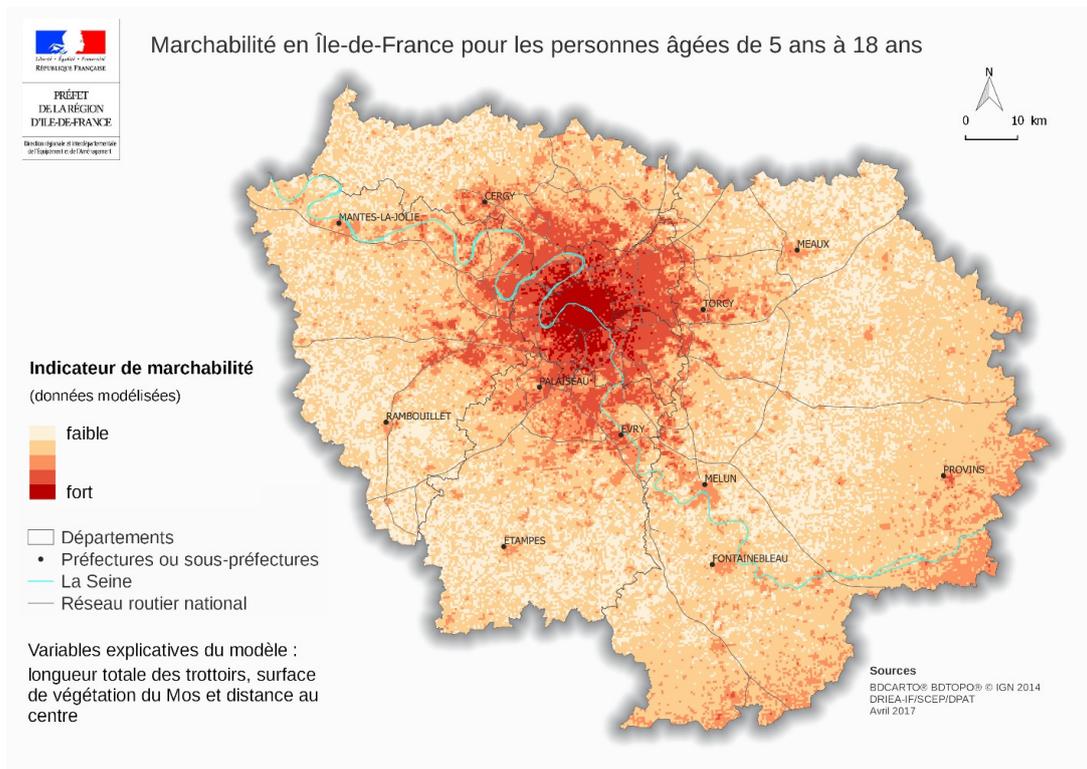


Figure 3 : Indicateur de marchabilité (IM) pour les Franciliens de 5 ans à 18 ans

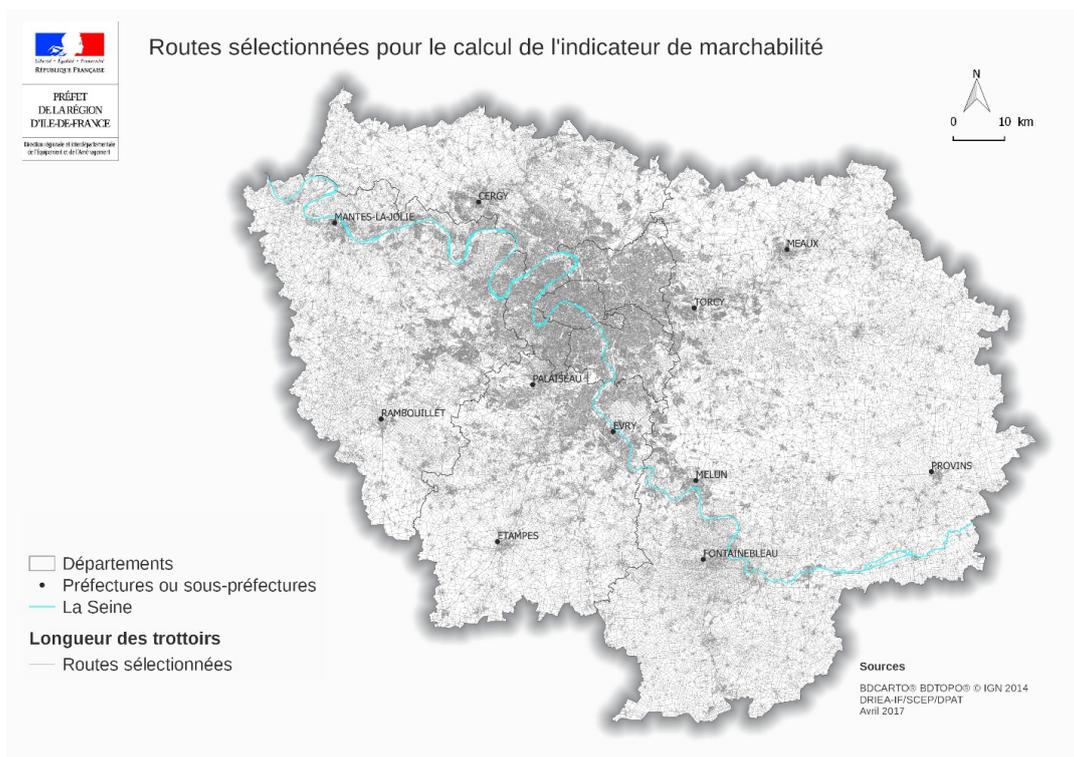


Figure 4 : La longueur des trottoirs est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de 5 ans à 18 ans

## 2.2. Résultats pour les personnes âgées de 18 ans à 65 ans

Les caractéristiques spatiales des territoires ressortant comme significatives pour influencer sur la pratique de la marche de la classe majoritaire, c'est-à-dire les personnes âgées de 18 à 65 ans, sont la diversité des équipements, la vitesse minimale à 30 km/h, la surface de végétation et la distance au centre de Paris.

La Figure 5 représente l'indicateur de marchabilité pour les personnes qui ont entre 18 et 65 ans. Le premier phénomène frappant est celui de l'influence de la variable « distance au centre Paris » qui génère des valeurs d'indicateur de marchabilité sous la forme de cercles concentriques autour de Paris.

Si cette organisation semble plausible pour une grande partie du territoire, elle est plus discutable lorsqu'on se rapproche des frontières de la région (extrémité sud de l'Essonne, extrémité ouest des Yvelines et surtout les extrémités sud et sud-est de la Seine-et-Marne). Néanmoins, l'analyse à l'échelle locale permettra de s'affranchir de cette difficulté.

Par ailleurs, à l'intérieur des bandes concentriques d'une même couleur dominante, c'est-à-dire pour un certain intervalle de la variable « distance », on discerne des carreaux qui présentent des valeurs d'indicateur de marchabilité différentes. Ce résultat montre l'influence d'autres variables plus locales telles que la diversité des équipements ou la présence de route limitée à 30 km/h.

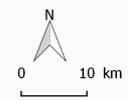
En effet, on observe des similitudes entre la localisation des tronçons de route limités à 30 km/h (Figure 6) et les carreaux présentant une marchabilité plus importante à l'intérieur de la bande où l'indicateur est le plus faible. En revanche, l'influence de cette variable ne suffit pas à expliquer l'hétérogénéité de marchabilité observée dans Paris et sur un rayon d'une trentaine de kilomètres depuis le centre de Paris.

Sur cette zone plus dense, on peut penser que la diversité des équipements joue un rôle prépondérant à travers la variable « diversité des équipements ». Pour des raisons de lisibilité, on ne représente pas ici les équipements pris en compte pour le calcul de l'indicateur. Les équipements pourront toutefois être représentés à une échelle plus locale (exemple de La Courneuve présenté plus loin en Figure 10).

Enfin, la surface de végétation ne semble pas avoir un effet très important pour cette tranche d'âge, ce qui est cohérent avec le coefficient relativement faible obtenu pour cette classe d'âge par rapport aux deux autres classes (Tableau 7 de l'annexe 2).



### Marchabilité en Île-de-France pour les personnes de âgées 18 ans à 65 ans

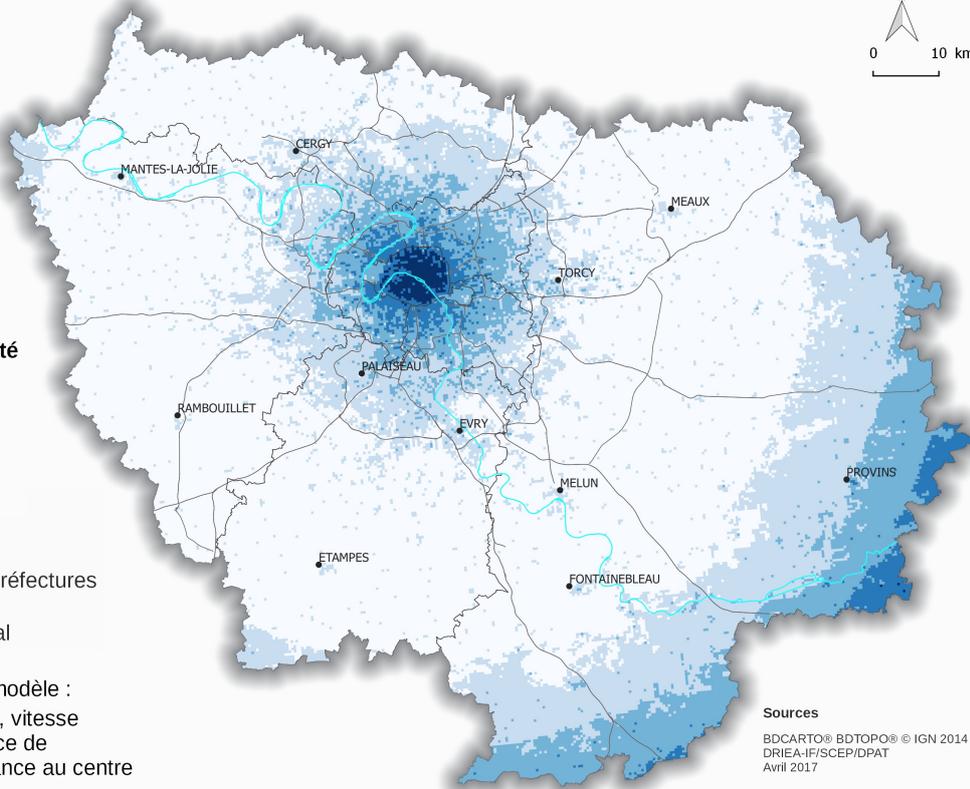


**Indicateur de marchabilité**  
(données modélisées)



- Départements
- Préfatures ou sous-préfatures
- La Seine
- Réseau routier national

Variables explicatives du modèle :  
diversité des équipements, vitesse minimale à 30 km/h, surface de végétation du Mos et distance au centre

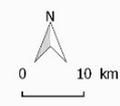


Sources  
BDCARTO® BDTOP0® © IGN 2014  
DRIEA-IF/SCEP/DPAT  
Avril 2017

Figure 5 : Indicateur de marchabilité pour les Franciliens de 18 ans à 65 ans



### Tronçons limités à 30 km/h pris en compte dans le calcul de l'indicateur de marchabilité



- Préfatures ou sous-préfatures
- Réseau routier national

**Vitesse limite autorisée**  
— Voie limitée à 30 km/h



Sources  
BDCARTO® BDTOP0® © IGN 2014  
Navteq 2014  
DRIEA-IF/SCEP/DPAT  
Avril 2017

Figure 6 : La vitesse limite de 30 km/h est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de 18 ans à 65 ans

## 2.3. Résultats pour les personnes âgées de plus de 65 ans

Les caractéristiques spatiales des territoires ressortant comme significatives pour influencer sur la pratique de la marche des personnes âgées de plus de 65 ans sont la diversité des équipements, la surface de végétation et la distance au centre de Paris.

La Figure 7 représente l'indicateur de marchabilité pour les personnes de plus de 65 ans. Au niveau de la zone centrale, on remarque des similitudes avec la carte correspondant à la classe d'âge 18-65 ans. Ce résultat est certainement lié à l'influence de la diversité des équipements disponibles dans l'agglomération parisienne. Pour rappel, cette variable explicative est présente dans ces deux classes d'âge, et le coefficient de pondération était plus important chez les plus de 65 ans.

En revanche dans les zones plus périphériques, l'effet de la variable « distance au centre de Paris » est nettement moins prégnant que ce que l'on avait constaté chez les 18-65 ans (Figure 5), ce qui est cohérent avec les valeurs de coefficients obtenus (Tableau 7 de l'annexe 2).

D'autre part, l'effet négatif de la surface de végétation est ici particulièrement marqué par rapport à ce que l'on a constaté chez les autres classes d'âge. En effet, les zones présentant la valeur d'indicateur la plus faible semblent coïncider avec la présence d'espaces verts (Figure 8).

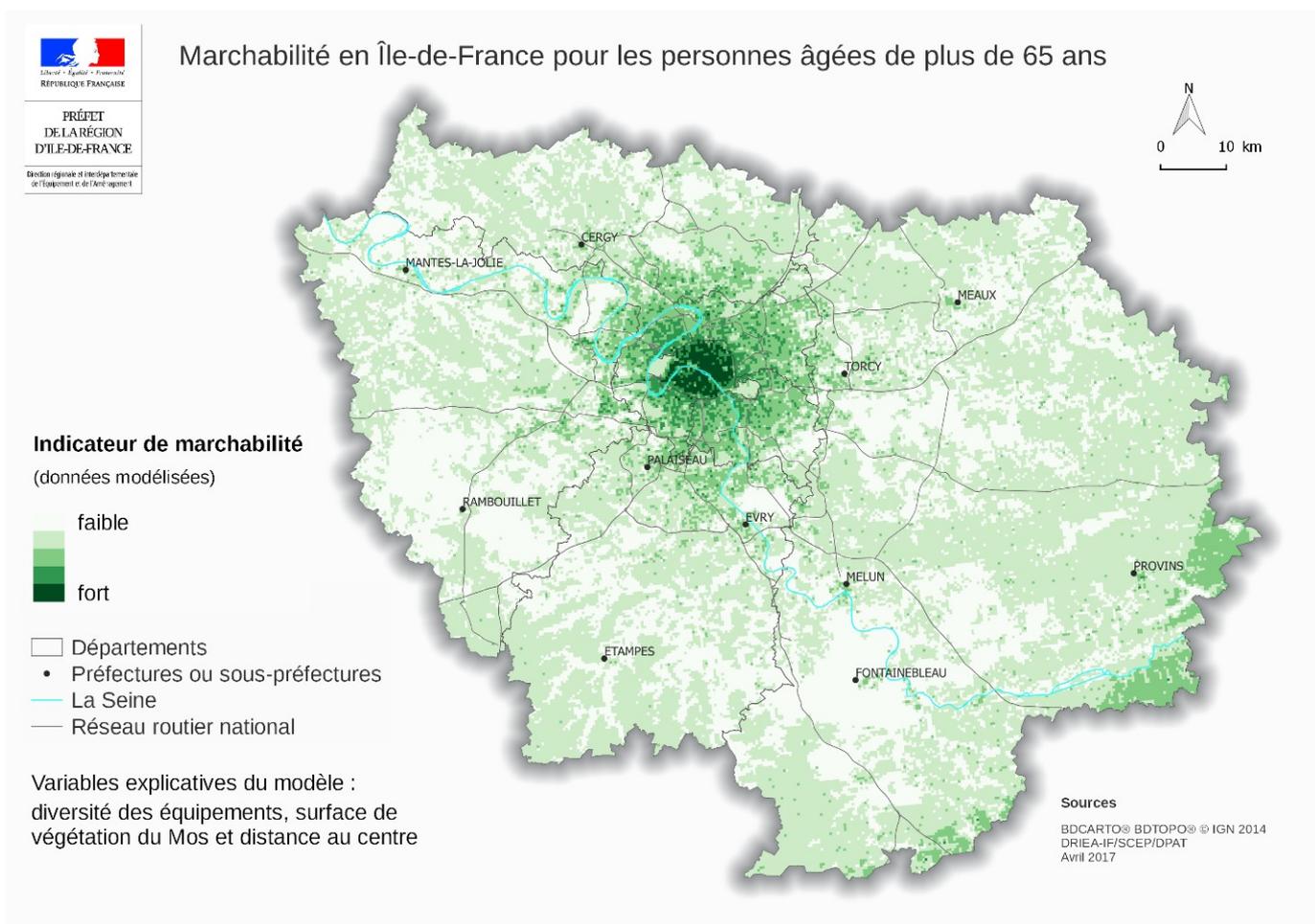


Figure 7 : Indicateur de marchabilité pour les Franciliens de plus de 65 ans

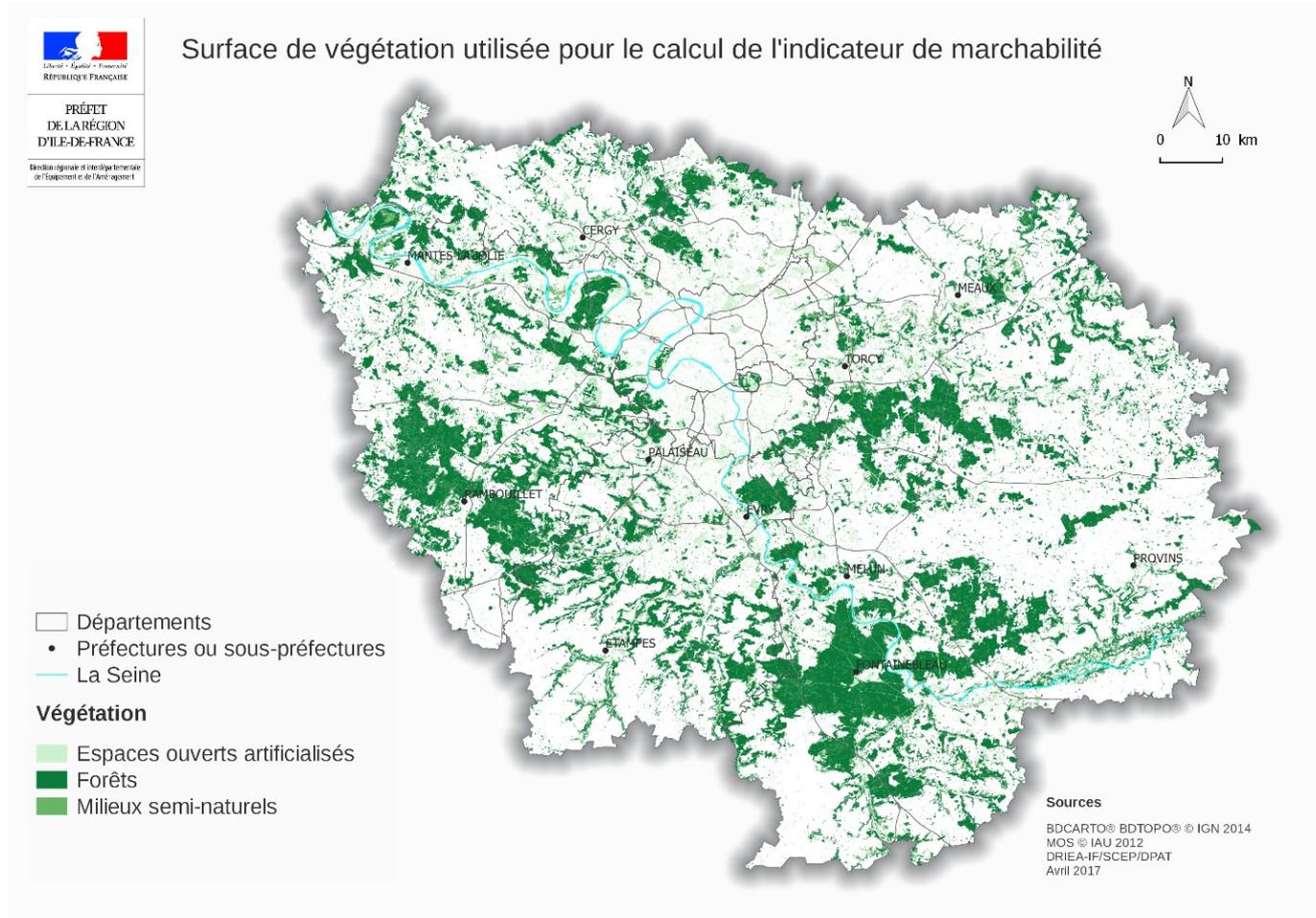


Figure 8 : La végétation est le paramètre le plus influent pour le calcul de l'IM des Franciliens de plus de 65 ans

## 2.4. Bilan

La représentation de l'indicateur de marchabilité à l'échelle régionale permet d'étudier l'influence relative des différentes caractéristiques d'un point de vue global et pour chaque classe d'âge. Cela met en évidence l'intérêt de disposer d'un outil applicable sur toute l'Île-de-France puisque calculé de façon homogène sur l'ensemble de la région.

Toutefois, il est prévu que cet outil soit utilisé à une échelle plus locale, ce qui a justifié la nécessité de travailler sur un carroyage de 400 m, contrainte non négligeable lors du recensement des données disponibles et exploitables. Ainsi, les cartes régionales n'ont pas pour objet de pouvoir réaliser des comparaisons entre des territoires aux caractéristiques très différentes.

Un autre modèle dont le périmètre se limiterait à un territoire plus homogène, tel que la Métropole du Grand Paris ou certains regroupements d'EPCI, pourrait constituer une suite possible à cette étude. En réduisant le périmètre d'étude, on devrait pouvoir disposer de données supplémentaires à mettre en entrée du modèle explicatif. Aussi, la disponibilité de données sur les centres périphériques secondaires serait utile pour conforter la notion de distance au centre. En effet, même si cette variable joue un rôle notable dans le modèle, cette approche reste assez simpliste et ne permet pas de prendre en compte les pôles secondaires. Il serait à terme utile de réaliser un travail plus fin, par exemple en calculant la distance par rapport au pôle de centralité le plus proche.

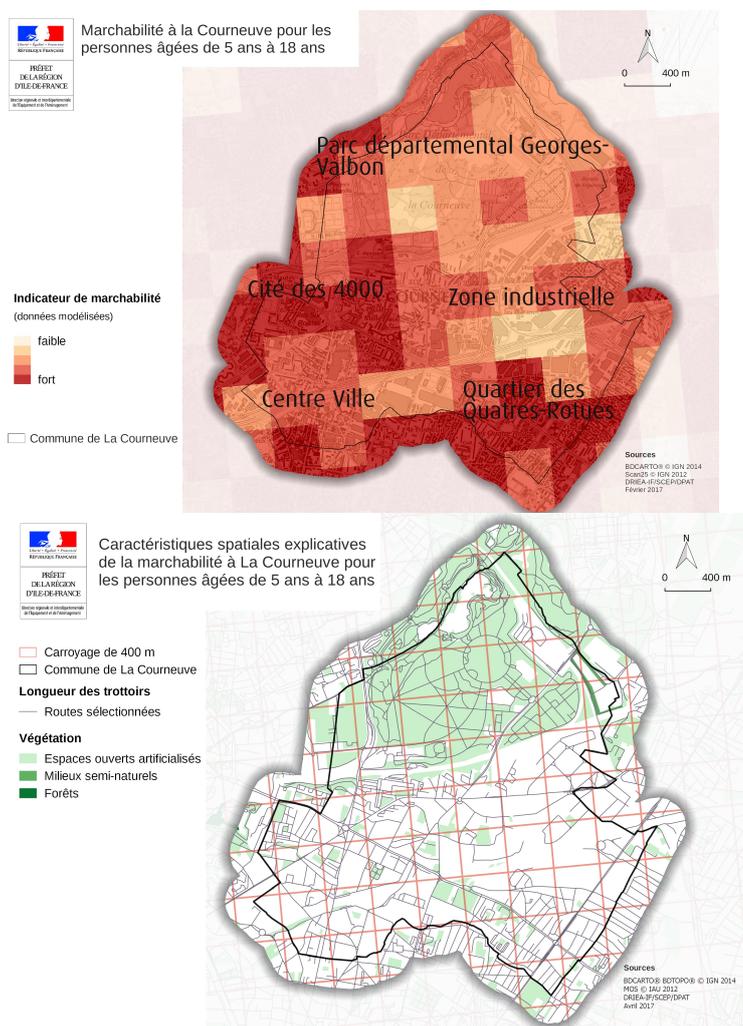
### 3. À l'échelle locale : un outil de diagnostic

L'indicateur de marchabilité a vocation à être utilisé par l'ARS comme un outil de diagnostic et à servir d'aide à la décision pour les aménageurs franciliens. La commune de La Courneuve a été sélectionnée comme exemple d'analyse des résultats de l'outil à l'échelle locale.

Pour chaque classe d'âge, une carte représentant l'indicateur de marchabilité a été produite, ainsi qu'une carte montrant les caractéristiques spatiales explicatives de l'indicateur. L'indicateur de marchabilité est représenté selon cinq classes définies avec des intervalles égaux, calculés pour chaque tranche d'âge. Il est important de garder à l'esprit que selon le niveau de zoom et la localisation de ce dernier, les classes représentées sur les cartes peuvent être différentes. En particulier, les classe utilisées pour les cartes sur la commune de La Courneuve ne sont pas les mêmes que celles des cartes à l'échelle régionale.

Enfin, notons que la distance au centre de Paris est une variable qui n'est pas perceptible à l'échelle communale puisque l'ensemble des carreaux d'une commune se trouvent approximativement à la même distance du point central. Cette variable n'est donc pas représentée sur les cartes locales.

#### 3.1. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés de 5 ans à 18 ans

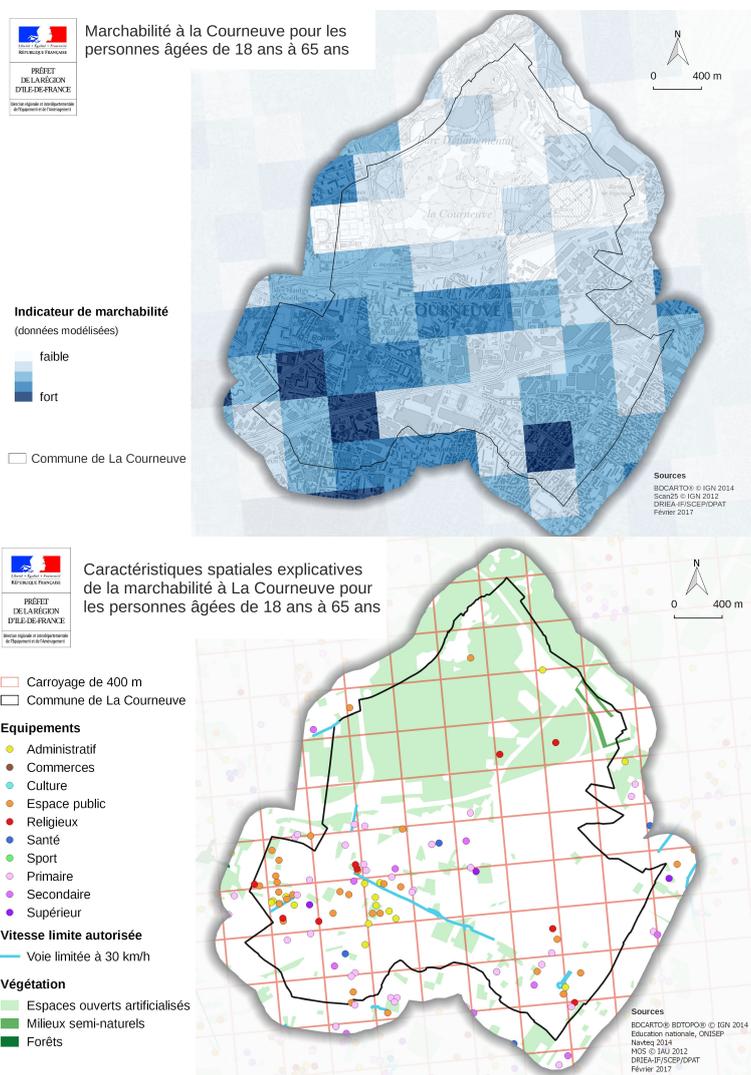


Variables explicatives retenues pour les 5-18 ans

- Longueur des trottoirs : influence positive sur la marchabilité
- Surface de végétation : influence négative sur la marchabilité
- Distance au centre : influence négative puis positive sur la marchabilité

Figure 9 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les 5-18 ans (La Courneuve)

### 3.2. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés 18 ans à 65 ans



Variables explicatives retenues pour les 18-65 ans

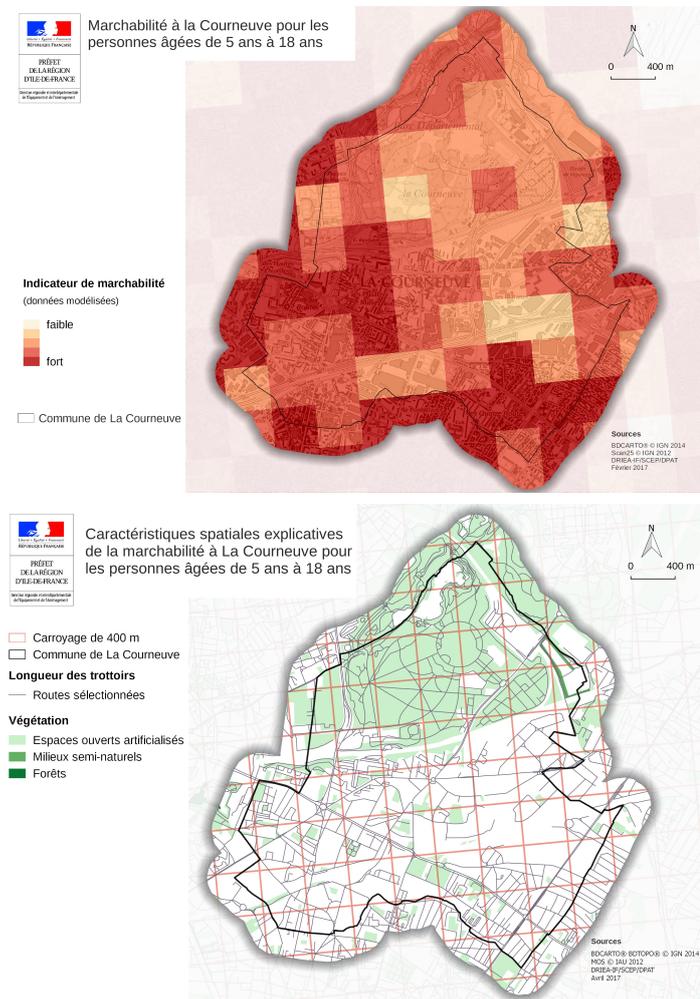
- Diversité des équipements : influence positive sur la marchabilité
- Surface de végétation : influence négative sur la marchabilité
- Vitesse minimale à 30 km/h : influence positive sur la marchabilité
- Distance au centre : influence négative puis positive sur la marchabilité

Figure 10 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les 18-65 ans (La Courneuve)

Pour les personnes âgées de 18 à 65 ans (Figure 10), on constate également l’influence négative de la végétation sur l’indicateur de marchabilité lorsqu’on considère la marche quotidienne en tant que moyen de transport. La zone industrielle apparaît ici aussi comme une aire moins marchable mais cette fois, cela s’explique par l’absence d’équipements et de services.

Les carreaux où l’indicateur de marchabilité est le plus élevé sont ceux qui bénéficient d’une plus grande diversité des équipements, c’est-à-dire au niveau du centre-ville et à proximité de l’arrêt de métro de La Courneuve. La présence d’une voie où la vitesse ne dépasse pas les 30 km/h influence aussi l’indicateur de marchabilité de façon favorable, bien que l’effet de cette variable semble moins important.

### 3.3. Exemple de résultats pour les résidents de La Courneuve âgés plus de 65 ans



Variables explicatives retenues pour les 5-18 ans

- Longueur des trottoirs :  
influence positive sur la marchabilité
- Surface de végétation :  
influence négative sur la marchabilité
- Distance au centre :  
influence négative puis positive sur la marchabilité

Figure 11 : Indicateur de marchabilité et variables explicatives pour les plus de 65 ans (La Courneuve)

Pour les personnes âgées de plus de 65 ans (Figure 11), on retrouve les variables qui ont le plus d'effet à l'échelle régionale sur les 18-65 ans, à savoir la surface de végétation (marchabilité plus faible) et la diversité des équipements (marchabilité plus forte). Ici, l'absence de la variable sur les vitesses dans l'indicateur de marchabilité semble conférer encore plus de poids à la variable sur les équipements.

### 3.4 Bilan

L'exemple de La Courneuve a permis de constater que l'utilisation d'un carroyage de 400 m était bien pertinente pour exploiter l'indicateur de marchabilité à l'échelle d'une commune. Pour chaque classe d'âge, les variations de l'indicateur pour les résidents de la commune montrent une certaine sensibilité de la marchabilité aux caractéristiques spatiales prises en compte dans l'indicateur.

À cette échelle, une approche plus qualitative qui permettrait de prendre en compte d'autres facteurs non utilisés dans l'indicateur pourrait enrichir utilement les analyses. Par exemple, la construction de l'indicateur par régression linéaire a nécessité d'exclure certaines variables fortement corrélées telles que la desserte en transport collectif (voir section 2.3 de l'annexe 2).

## Conclusion

L'objectif de cette étude était d'étudier l'influence des caractéristiques spatiales d'un territoire sur la pratique de la marche par ses résidents grâce à la construction d'un indicateur de marchabilité synthétique à une échelle fine en vue de réaliser des analyses infracommunales. Cet indicateur a vocation à être utilisé comme un outil d'aide à la décision pour les aménageurs des territoires et fait partie d'un travail partenarial plus large avec l'ARS sur le lien entre marchabilité et santé.

Une des originalités de l'étude est son périmètre, choisi comme relativement large pour que l'indicateur puisse être appliqué sur toute l'Île-de-France. Dès lors, la construction de l'indicateur de marchabilité était soumise à une contrainte forte de disponibilité des données SIG sur l'ensemble de la région. Dans la littérature, d'autres travaux ont été réalisés à une échelle plus locale, comme sur les agglomérations de Lyon (Chatalic, 2012), Strasbourg (Tran et al., 2014) ou encore le Plan marche élaboré par l'établissement public territorial de Plaine Commune. Une nouvelle étude qui se limiterait au périmètre de la métropole du Grand Paris ou d'un regroupement d'EPCI pourrait être envisagée.

L'étude a permis de démontrer l'existence d'un lien, en Île-de-France, entre les caractéristiques spatiales d'un territoire et la pratique de la marche par les résidents de ce même territoire dans leurs déplacements quotidiens, mais aussi de quantifier ce lien grâce à l'utilisation des données de l'EGT 2010.

Les résultats du modèle indiquent que l'indicateur de marchabilité, tel que construit dans cette étude, permet d'expliquer seulement 8 % de la pratique de la marche exprimée comme le budget-temps transport de marche depuis ou vers le lieu du domicile un jour moyen de semaine. La marche est donc considérée de façon partielle et on ne tient compte ni de la marche récréative ni des loisirs qui peuvent pourtant donner lieu à une activité physique.

Si ce chiffre semble faible de prime abord, il faut garder à l'esprit que la marchabilité d'un territoire ne peut expliquer à elle seule la pratique de la marche. En effet, de nombreuses autres variables ont une influence certaine sur la marche, telles que les caractéristiques socio-économiques des individus, le genre ou encore la composition familiale (Tran et al., 2014). La distinction de trois classes d'âge a par exemple permis de rendre compte du fait que les caractéristiques spatiales d'un même territoire peuvent influencer différemment les pratiques de mobilité de ses résidents selon leur âge.

De plus, ce chiffre peut être considéré comme une fourchette basse car d'autres données sur les caractéristiques spatiales et sur l'environnement urbain n'ont pu être intégrées dans l'indicateur en raison de l'absence de données fines sur l'ensemble de la région (qualité des cheminements piétons, sécurité, etc.). Une approche qualitative lors de l'utilisation de l'outil à l'échelle locale pourrait combler cette lacune.

L'indicateur de marchabilité peut être exploité sous la forme de cartes à l'échelle communale, comme le montre l'exemple de La Courneuve présenté dans cette étude. On constate une forte marchabilité dans la partie sud de la commune, et plus particulièrement au sud-est et au sud-ouest. Si les résultats peuvent sembler similaires chez les trois classes d'âge, les facteurs explicatifs sont toutefois différents. Pour les moins de 18 ans, un meilleur

indicateur de marchabilité dans ces secteurs s'explique par une bonne connectivité du réseau viaire tandis que pour les deux autres classes d'âge, il s'agit de la diversité des équipements. À l'inverse la partie nord apparaît comme moins marchable, notamment du fait de la présence du parc départemental Georges-Valbon (effet négatif de la surface de végétation).

Diverses pistes d'application ont été identifiées par l'ARS pour ses besoins propres. En particulier, ce travail pourrait être utilisé dans le cadre des diagnostics « santé publique » réalisés sur les quartiers de gares du Grand Paris et sur des quartiers ANRU (Agence nationale pour la rénovation urbaine), ou encore pour alimenter les contrats locaux de santé (CLS) établis de façon participative entre l'ARS et une collectivité territoriale afin de réduire les inégalités territoriales et sociales de santé.

## Bibliographie

- Apur et ARS (2015). *Santé et Grand Paris Express*. 53 p.
- Bouleau M. et Laurent S. (2016). *La marche à pied en Ile-de-France*. IAU Île-de-France. 27 p.
- Chatalic V. (2012). *Environnement bâti et déplacements piétonniers. Modéliser la marchabilité en France : quelles données, quelles méthodes ?* Mémoire de M2, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne. 34 p.
- Frank L. D., Schmid T. L., Sallis J.F., Chapman J., Saelens B. E. (2005). Linking Objectively Measured Physical Activity with Objectively Measured Urban Form - Findings from SMARTRAQ. *American Journal of Preventive Medicine*. Volume 28, Issue 2, Supplement 2, Pages 117-125.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2004.11.001>. 9 p.
- Frank L.D., Sallis J.F., Saelens B.E., Leary L., Cain K., Conway T.L., Hess P.M. (2009) The Development of a Walkability Index: Application To the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine Online*. Published on April 29, 2009. doi:10.1136/bjism.2009.058701. 38 p.
- Genre-Grandpierre C. et Foltête J-C. (2003). Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, 3e colloque du Groupe de travail mobilités spatiales et fluidité sociale (GT23) : Offre urbaine et expériences de la mobilité, Strasbourg, France 20, 21 et 22 mars 2003. Articles sélectionnés par Cybergeo, document 248, mis en ligne le 7 octobre 2003 (consulté le 28 septembre 2016).  
URL : <http://cybergeo.revues.org/3925> ; doi: 10.4000/cybergeo.3925. 21 p.
- Héran F. et Pouillaude L. (2009). *Les zones de desserte à pied autour des stations de transport public urbain*. Communication au 2e colloque francophone de la plate-forme intégratrice COPIE (Comportement du Piéton dans son Environnement) de l'INRETS : Le Piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoin de recherche. Lyon, 5 et 6 novembre 2009. 15 p.
- Jouffe Y., Caubel D., Fol S., Motte-Baumvol B. (2015). Faire face aux inégalités de mobilité, Tactiques, stratégies et projets des ménages pauvres en périphérie parisienne. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 708, mis en ligne le 19 janvier 2015 (consulté le 25 septembre 2016).  
URL : <http://cybergeo.revues.org/26697> ; doi: 10.4000/cybergeo.26697. 19 p.
- Jun H.J., Hur M. (2015) The relationship between walkability and neighborhood social environment: The importance of physical and perceived walkability. *Applied Geography*. Volume 62, Pages 115-124.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.04.014>. 10 p.
- Leslie E., Coffee N., Frank L., Owen N., Bauman A., Hugo G. (2007). Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes. *Health and Place*. Volume 13, Pages 111-122. doi:10.1016/j.healthplace.2005.11.001. 12 p.
- Mayne D. J., Morgan G.G., Willmore A., Rose N., Jalaludin B., Bambrick H., Bauman A. (2013). An objective index of walkability for research and planning in the Sydney Metropolitan Region of New South Wales, Australia: an ecological study. *International Journal of Health Geographics*. 12:61. Mis en ligne le 24 décembre 2013 (consulté le 3 février 2017).  
<http://www.ij-healthgeographics.com/content/12/1/61>. doi:10.1186/1476-072X-12-61. 10 p.

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer-Direction de la Recherche et de l'Innovation/Laboratoire ENEC/IFSTTAR/INRS (2014). La marche à pied pour les séniors : un mode de déplacement durable ? Pratiques – Contraintes – Accessibilité – Exposition au risque. Projet MAPISE. PREDIT 4 Groupe Opérationnel n°2. 239 p.

Saelens B. E., Handy S. L. (2008). Built Environment Correlates of Walking: A Review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 40 (7 Suppl): S550-S566, mise en ligne en juillet 2008 (consulté le 1 février 2017). doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c67a4. 33 p.

Stockton J. C., Duke-Williams O., Stamatakis E., Mindell J. S., Brunner E. J., Shelton N. J. (2016). Development of a novel walkability index for London, United Kingdom: cross-sectional application to the Whitehall II Study. *BMC Public Health*. Volume 16. Doi: 10.1186/s12889-016-3012-2. 12 p.

Tran D-B., Piombini A., Ignatowitz M., Moreno D., Frigui R., Aguiléra A., Badariotti D. (2014). Morphologie urbaine et mobilité dans la Communauté Urbaine de Strasbourg. *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, document 702, mis en ligne le 23 décembre 2014 (consulté le 26 septembre 2016). URL : <http://cybergeo.revues.org/26665> ; doi: 10.4000/cybergeo.26665. 29 p.

Zuniga-Teran A. A., Barron J. O., Gimblett R. H., Chalfoun. N. V., Marsh S. E., Guertin. D. P., Going S. B. (2017). Designing healthy communities: Testing the walkability model. *Frontiers of Architectural Research*. [En ligne], (consulté le 1er février 2017). URL: [https://www.researchgate.net/publication/312316338\\_Designing\\_healthy\\_communities\\_Testing\\_the\\_walkability\\_model](https://www.researchgate.net/publication/312316338_Designing_healthy_communities_Testing_the_walkability_model). 11 p.



## **Annexes**

# Annexe 1 : Présentation de l'EGT 2010

## Présentation générale

L'EGT 2010 est une enquête ménages déplacements réalisée tous les dix ans sur les pratiques de mobilité des Franciliens et constitue la principale source de connaissance des déplacements des Franciliens depuis 1976. L'EGT permet de caractériser les pratiques de mobilité à une période donnée, mais elle met aussi en évidence les évolutions de la mobilité grâce aux comparaisons possibles avec les quatre précédentes éditions (1976, 1983, 1991 et 2001).

Cette enquête de grande ampleur recueille un nombre important d'informations sur les caractéristiques des ménages enquêtés, sur la mobilité individuelle, sur les modes de transport utilisés, sur les motifs ainsi que sur le temps consacré aux déplacements. Des entretiens ont été réalisés auprès de 18 000 ménages soit 43 000 personnes pour un total de 143 000 déplacements recensés, ce qui fait de l'EGT l'enquête ménages déplacements la plus importante en taille et celle qui offre la meilleure précision.

L'Enquête Globale Transport est la seule enquête portant sur la mobilité de tous les Franciliens pour l'ensemble des modes de transport et des motifs. De ce fait elle est la source principale de connaissances nécessaires à la définition des politiques de transports et à la réalisation de nouvelles infrastructures. L'EGT 2010 a été cofinancée par le Stif et la DRIEA. La TNS-Sofres a été retenue pour être le prestataire de l'enquête.

## Méthodologie

La méthode d'enquête utilisée est celle de l'enquête standard du CERTU. Ainsi sont recensés l'ensemble des déplacements des Franciliens de 5 ans et plus, dont au moins l'une des extrémités se situe en Ile-de-France. La réalisation de l'enquête a été effectuée hors vacances scolaires entre octobre et mai sur deux années (2009-2010 et 2010-2011). Grâce à cette méthodologie, l'EGT est comparable dans le temps avec les précédentes versions, mais aussi dans l'espace avec les autres enquêtes ménages déplacements des grandes agglomérations françaises.

Afin de recenser la totalité des déplacements effectués par les personnes interrogées, les enquêteurs ont eu pour consigne de relancer sur des petits déplacements réalisés mais souvent oubliés du type « achat du pain en rentrant le soir ». Cette instruction n'avait pas été donnée lors des précédentes éditions de l'EGT. De ce fait, cette cinquième édition de l'EGT décrit probablement mieux les déplacements de faible portée.

D'autre part, la précision des portées des déplacements a été affinée puisqu'un nouveau carroyage plus fin de 100 m de côté a été mis en place sur l'ensemble de la région. Cependant les données sont statistiquement utilisables au secteur de tirage car l'échantillon n'est pas représentatif en-deçà de ce niveau géographique.

Le questionnaire soumis lors de l'enquête est composé de quatre parties distinctes.

- **La fiche « Ménages » :**

Elle recense les caractéristiques du ménage : le type de logement occupé, l'équipement du ménage en moyens de déplacements (voitures et deux roues motorisés) et leur niveau de revenu.

- **La fiche « Personnes » :**

Elle décrit chaque personne du ménage : son âge, son sexe, son niveau d'études, son occupation principale, sa catégorie socio-professionnelle, sa possession ou non d'un permis de conduire, d'un abonnement aux transports collectifs ou aux vélos en libre-service, etc.

- **La fiche « Déplacements » :**

Pour toutes les personnes du ménage de 5 ans et plus qui se sont déplacées la veille, elle recense l'ensemble des déplacements effectués. Ces derniers sont caractérisés par leurs lieux d'origine et de destination, leur durée ainsi que leurs motifs de réalisation (travail, études, achats, loisirs...).

- **La fiche « Trajets » :**

Elle détaille chaque déplacement en décrivant l'enchaînement des modes de transport qui le constituent. Tout comme les déplacements, les trajets sont géo-localisés finement à l'aide du carroyage.

## Limites d'utilisation

L'EGT ne fournit aucune indication concernant les déplacements effectués en Île-de-France par les non Franciliens.

## Annexe 2 : Méthodologie et construction de l'indicateur de marchabilité

### 1. Quelle mesure de la marche ?

#### 1.1. Quantifier la pratique de la marche

L'indicateur de marchabilité ayant pour vocation d'alimenter une étude sur le lien entre la marchabilité et la santé, il semble plus judicieux de s'intéresser à la durée des déplacements à pied plutôt qu'à leur fréquence par exemple. D'autres études traitent de la marchabilité sous l'angle du transport et des déplacements et les auteurs ont donc choisi de s'intéresser au nombre de déplacements marchés (Genre-Grandpierre, Foltête, 2003) ou encore à la probabilité qu'une personne choisisse la marche comme mode déplacement (Chatalic, 2012) par exemple.

La variable modélisée est le budget-temps transport de marche depuis ou vers le lieu du domicile, noté  $BT_{marche}$  et mesuré à partir des données de l'EGT 2010. Cette grandeur s'exprime comme la durée totale de marche par individu sur un jour moyen de semaine. Le lieu du domicile est associé au carreau de résidence tel que déclaré dans l'EGT 2010 (carroyage de 100 m de côté).

Le  $BT_{marche}$  est obtenu en sommant la durée des déplacements et des trajets effectués à pied, depuis ou vers le carreau de résidence de l'individu.

$$BT_{marche} = \sum_{sur\ la\ journée} durée_{déplacement\ marche} + durée_{trajet\ marche}$$

Dans l'EGT 2010, la distance d'un trajet est renseignée mais pas sa durée. Cette dernière a donc été approximée à partir de la vitesse moyenne des déplacements à pied calculée avec les données de l'EGT.

$$durée_{trajet\ marche} = \frac{distance_{trajet\ marche}}{vitesse\ moyenne_{marche}}$$

#### 1.2. Utilisation d'un carroyage de l'île-de-France

Afin de pouvoir utiliser l'indicateur de marchabilité dans des analyses territoriales à l'échelle de la commune, il a été décidé d'utiliser un carroyage de l'île-de-France. Ce carroyage a été choisi en fonction du degré de finesse des données disponibles et de l'objet étudié, en l'occurrence la marchabilité.

Dans le rapport Santé et Grand Paris Express, l'ARS et l'Apur (2015) considèrent que l'aire d'accessibilité à pied à partir d'une gare est d'environ 800 m, ce qui donne un premier ordre de grandeur de l'échelle à laquelle il serait souhaitable de travailler. Dans la même publication, l'exemple du Plan marche de Plaine Commune est également abordé sur des déplacements de rabattement vers une gare en marche-à-pied. L'accessibilité des gares actuelles et futures est envisagée sur une distance de 1 km (soit environ 15 minutes de marche si on considère une vitesse moyenne de 4 km/h).

Par ailleurs, les résultats de l'EGT 2010 indiquent que les Franciliens effectuent, en moyenne et tous motifs confondus, des déplacements d'une portée 430 m et d'une durée de 12 minutes. Notons aussi que les

observations de l'EGT sont renseignées sur un carroyage de 100 m de côté, contre 200 m pour le carroyage de l'INSEE.

Des tests ont été réalisés sur un carroyage de 200 m car il s'agissait de la plus petite maille a priori exploitable. Cependant le nombre d'observations EGT semblait insuffisant et il a été décidé d'agrèger les carreaux de 200 m pour former un carroyage de 400 m. L'estimation du modèle a donc été faite sur l'ensemble des carreaux de 400 m. L'indicateur de marchabilité qui en résulte dépend des caractéristiques observées sur ces carreaux.

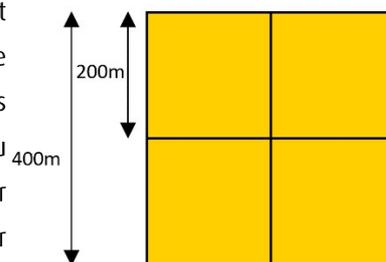


Figure 12 : Carroyage de 400m

### 1.3. Prise en compte de l'âge via la segmentation

Rappelons que la littérature fait état de plusieurs modèles de la pratique de la marche ou d'activité physique basés sur des variables sociodémographiques avant d'introduire des variables spatiales (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Frank et al., 2005 ; Chatalic, 2012).

Ici, l'objectif du modèle est d'établir le lien entre la marche et les caractéristiques spatiales. Les variables sociodémographiques ne sont donc pas prises en compte. Toutefois, pour améliorer le pouvoir explicatif du modèle, on propose d'introduire une segmentation selon l'âge des individus. Cela permet de tenir compte du fait que la marchabilité peut s'exprimer de façon différente selon l'âge des individus d'un même territoire (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003). Concrètement, cela revient à faire autant de modèles que de segments.

Trois classes d'âge ont ainsi été définies : les personnes âgées de 5 ans à 18 ans, de 18 ans à 65 ans et les 65 ans et plus. La borne des 18 ans a été choisie pour tenir compte de l'âge légal à partir duquel une personne peut obtenir son permis de conduire. Quant à celle des 65 ans, une étude de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France (IAU) a montré que, d'après l'EGT, la marche est très majoritaire chez les 5-14 ans puis elle semble diminuer chez les 15-65 ans et augmente de nouveau à partir de 65 ans (Bouleau et Laurent, 2016).

D'autres variables de segmentation pourraient être envisagées mais très peu de données sociodémographiques exhaustives sont disponibles à l'échelle du carreau de 400 m. Un travail sur une autre échelle, en utilisant un zonage à la commune par exemple et non un carroyage, permettrait d'étudier l'effet de variables telles que le taux de motorisation ou le revenu (Frank et al., 2009).

## 2. Choix des variables spatiales

### 2.1. Panorama des données disponibles

Dans la littérature, les caractéristiques spatiales sont souvent choisies a priori. En particulier l'indicateur proposé par Frank et al. (2005 ; 2009) est utilisé dans plusieurs études (Leslie et al., 2007 ; Mayne et al., 2013 ; Jun et Hur, 2015). Cet indicateur tient compte :

- de la densité résidentielle : densité de logements par unité de surface à fonction résidentielle,
- de la connectivité des routes : nombre d'intersections par unité de surface,
- de la mixité fonctionnelle : tient compte des commerces, des bureaux et des logements,
- du ratio de surface commerciale : rapport de la surface au plancher dédiée à l'activité de vente sur la surface de la parcelle du commerce – ce qui permet de distinguer, par exemple, les commerces qui proposent de nombreuses places de parking et qui ne favorisent pas les accès piétonniers

Zuniga-Teran et al. (2016) s'appuient sur un ensemble de recherches visant à définir les caractéristiques d'un quartier qui favoriseraient la pratique de la marche et définissent le concept de « walkability framework ». Ce dernier comprend neuf paramètres :

- la connectivité du réseau viaire,
- la densité résidentielle,
- la mixité fonctionnelle,
- la sécurité routière pour les piétons et cyclistes,
- le sentiment de sécurité (pouvoir être vu par des riverains ou des commerçants par exemple renforcerait le sentiment de sécurité),
- la qualité de l'expérience le long du cheminement piéton (dimensions esthétiques, confort, etc.),
- la présence ou non de parking,
- la présence d'espaces verts et leur accessibilité,
- la dimension sociale (présence d'espaces favorisant les interactions sociales).

Les variables testées dans le modèle ont été choisies en fonction de leur potentielle influence sur la marchabilité mais aussi en fonction de la disponibilité de la donnée à l'échelle du carroyage choisi (400 m). Si ces variables recourent en grande partie celles proposées par Frank et al., elles ne permettent pas d'aborder toutes les dimensions envisagées par le « walkability framework » de Zuniga-Tera et al., pertinent non seulement pour la marche transport mais aussi pour la marche récréative.

#### 2.1.1. La densité urbaine

La densité urbaine est une caractéristique spatiale couramment utilisée pour qualifier un environnement urbain. On s'attend à ce qu'une zone dense soit plus favorable à la marche quotidienne et pourrait donc constituer une variable à prendre en compte dans la construction de l'indicateur de marchabilité.

#### • Le volume du bâti

Extrait de la BD Parcellaire 2013 de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), la source est réputée fiable jusqu'à la parcelle cadastrale. Le volume du bâti est donc une donnée de grande qualité qui offre une connaissance suffisamment précise pour travailler à l'échelle du carroyage.

La littérature fait état d'une corrélation positive entre la densité du bâti et la pratique de la marche (Chatalic, 2012). Cette grandeur se rapproche de celle de la densité résidentielle utilisée dans l'indicateur de marchabilité défini par Frank et al. (2005 ; 2009), bien qu'elle soit moins détaillée puisqu'elle concerne tout type de bâti.

#### • Nombre de résidents

Le nombre de résidents est une autre façon de quantifier la densité urbaine, plus en phase avec la notion de densité résidentielle que l'on trouve dans la littérature. Le nombre de résidents est calculé à partir des populations fiscales des carreaux Insee sur la base des personnes de 5 ans et plus.

Ce seuil a été retenu afin de correspondre au périmètre d'enquête de l'EGT 2010. Dans l'EGT 2010, les enfants âgés de moins de 5 ans ne sont pas interrogés sur leurs déplacements car on considère que leur comportement de mobilité dépend des habitudes de leurs parents.

La densité urbaine est une grandeur à caractère générique qui peut masquer certaines spécificités d'un territoire. D'ailleurs, d'autres variables, comme celles relatives aux aménités urbaines, sont a priori liées à la densité urbaine mais apportent des informations supplémentaires qui permettent de qualifier plus précisément un territoire.

### *2.1.2. Les aménités urbaines pour quantifier l'intensité urbaine*

Au-delà de la densité urbaine, on peut s'intéresser à l'intensité urbaine pour mieux tenir compte de l'attractivité d'un territoire via l'occupation du sol et les opportunités que peuvent apporter certaines activités.

En particulier, les aménités urbaines telles que les commerces, les équipements de loisirs ou encore les établissements d'enseignement, sont considérées comme des variables explicatives de la marche (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Chatalic, 2012 ; Bouleau et Laurent, 2016).

#### • Le nombre d'équipements

Le nombre d'équipements par carreau témoigne de la densité des aménités urbaines et donc de l'attractivité pouvant être associée au carreau. Ainsi, on s'attend à ce que le nombre d'équipements ait une influence positive sur la marche-à-pied.

La BD Topo 2014 de l'IGN constitue une base intéressante puisqu'elle recense plusieurs types d'équipements

géolocalisés. En particulier, les catégories suivantes ont été utilisées :

- les sites à caractère public, administratif ou militaire,
- les lieux de culte,
- les établissements de santé de type thermal ou hospitalier,
- les lieux dédiés à la culture, au tourisme et aux loisirs,
- les équipements sportifs,
- les commerces et marchés.

Pour les établissements d'enseignement, on a préféré utiliser des données provenant directement de l'Éducation nationale pour l'enseignement primaire et secondaire et de l'Office national d'information sur les enseignements et professions (Onisep) pour l'enseignement supérieur.

#### • La diversité des équipements

Cette variable est construite à partir des mêmes données exploitées pour déterminer le nombre d'équipements. Les équipements identifiés précédemment sont classés en plusieurs catégories afin de mieux appréhender la diversité des aménités offerte par chaque carreau. Les catégories considérées ainsi que leur contenu sont listés dans le Tableau 3.

Catégories d'équipements	Détail des attributs utilisés dans la BD Topo
Administratif et militaire	Borne, bureau ou hôtel des postes, caserne de pompiers, divers public ou administratif, enceinte militaire, établissement pénitentiaire, gendarmerie, Hôtel de département, Hôtel de région, mairie, maison forestière, ouvrage militaire, Palais de justice, poste ou hôtel de police, Préfecture, Préfecture de région, Sous-préfecture
Commerce	Divers commercial, marchés
Culture et loisirs	Camping, construction, digue, dolmen, habitation troglodytique, maison du parc, menhir, monument, musée, parc de loisirs, parc des expositions, parc zoologique, refuge, vestiges archéologiques, village de vacances et autres
Espaces publics	-
Religieux	Croix, culte divers
Santé	Établissement hospitalier, établissement thermal, hôpital
Sport	Stade, piscine, hippodrome, golf, autres
Enseignement primaire	-
Enseignement secondaire	-
Enseignement supérieur	École d'art, école de gestion et de commerce, école de santé, école d'ingénieurs, école supérieure du professorat et de l'éducation, institut universitaire de technologie, école du secteur social, lycée, lycée professionnel, lycée agricole (pour études supérieures), unité de formation et de recherche, autre établissement du supérieur, centre de formation d'apprentis, centre de formation de fonctionnaires

Tableau 3 : Équipements pris en compte pour quantifier la diversité des équipements

Chaque carreau se voit attribuer une note qui varie en fonction de la diversité des équipements ; la note maximale théorique correspondant au cas où il existe au moins un équipement de chaque catégorie.

Une plus grande diversité de services et équipements offre une palette de destinations accessibles à pied plus large, ce qui devrait donc influencer positivement la pratique de la marche.

### **2.1.3. La desserte en transport en commun (TC)**

À l'inverse de la voiture pour laquelle les lieux de stationnement sont généralement situés à proximité immédiate du lieu de destination finale, les transports en commun doivent souvent être complétés par un trajet effectué à pied entre l'arrêt de TC et le lieu de destination. Ainsi, on s'attend à ce que la présence d'arrêts TC favorise la pratique de la marche, tout en gardant à l'esprit qu'a priori, plus la desserte est fine et plus les trajets de rabattement et diffusion sont courts.

La desserte en transport en commun peut aussi être considérée comme une aménité urbaine, au même titre que la présence d'équipement. Deux variables sont calculées à partir des bases « Stif 2014 » pour rendre compte de cette dimension : le nombre d'arrêts de bus et le nombre de gares TC (tramways, métros, RER et Transiliens).

### **2.1.4. La surface de végétation**

Les espaces verts ou plus généralement la couverture végétale sont des paramètres étudiés comme des déterminants des déplacements à pied (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Chatalic, 2012).

En zone dense, une corrélation positive est attendue ; la présence d'un parc pouvant être perçue comme une aménité urbaine supplémentaire accessible seulement par la pratique de mode doux. En zone périurbaine, une corrélation négative est envisagée : vivre au milieu de la forêt peut entraîner un isolement propice à l'usage de la voiture.

Pour la surface de végétation, deux sources sont disponibles pour l'Île-de-France : la BD Topo de l'IGN et le Mode d'occupation du sol (Mos) de l'IAU.

#### **• La surface végétale de la BD Topo**

Calculée à partir de la BD Topo 2014, la surface végétale prend en compte un nombre important d'objets, allant de la forêt aux haies le long des routes. Cette précision importante rend la manipulation de cette base assez lourde.

#### **• La surface des parcs et des zones végétalisées issue du Mos**

Le Mos est un atlas cartographique permettant de qualifier l'occupation du sol en Île-de-France. Il est réalisé par l'IAU à partir de photographies aériennes. La variable étudiée ici a été construite à partir d'une extraction de cette base. Elle distingue : les forêts, les milieux semi-naturels et les espaces ouverts artificialisés. Le Tableau 4 décrit le contenu de ces catégories.

Type de végétation	Détail du contenu
Forêts	Bois ou forêts, coupes ou clairières en forêts, peupleraies
Milieux semi-naturels	Espaces ouverts à végétation arbustive ou herbacée, berges
Espaces ouverts artificialisés	Parcs ou jardins, jardins familiaux, jardins de l'habitat individuel, jardins de l'habitat rural, jardins de l'habitat continu bas, terrains de sport en plein air, tennis découverts, baignades, parcs d'évolution d'équipements sportifs, golfs, hippodromes, camping, caravaning, parcs liés aux activités de loisirs sauf parcs de châteaux, cimetières, surfaces engazonnées avec ou sans arbustes, terrains vacants

Tableau 4 : Variables du Mos liées à la végétation et utilisées dans l'étude

### 2.1.5. La connectivité du réseau viaire

Les variables en lien avec le réseau viaire peuvent permettre d'expliquer les comportements de mobilité des résidents d'un quartier (Héran et Poullaude, 2009). Un réseau finement maillé a tendance à encourager les déplacements piétonniers car en principe ils permettent d'effectuer des trajets plus courts et donc plus efficaces.

Toutefois, une connectivité trop importante peut avoir l'effet inverse sur la marche car elle peut conduire à une complexification des cheminements piétons, notamment en termes d'orientation.

Compte tenu des données disponibles, deux variables peuvent être calculées pour traduire la connectivité du réseau viaire : la longueur totale des trottoirs et le nombre d'intersections.

#### • Longueur totale des trottoirs

En l'absence d'une base de données existante et exhaustive sur toute la région, l'exploitation de la BD Topo 2014 a permis d'estimer de façon approximative la longueur des trottoirs pour chaque carreau. Cette variable a été obtenue en sommant la longueur totale des tronçons de toutes les voies de communication, hormis les routes à caractère autoroutier qui n'ont pas de trottoirs.

Une limite de l'utilisation de cette variable pour quantifier la connectivité du réseau viaire est qu'elle ne permet pas d'isoler directement les impasses, les voies privées, etc. Or, ce type de rue a plutôt tendance à dégrader le caractère marchable d'un quartier (Héran et Poullaude, 2009).

#### • Le nombre d'intersections routières

Le calcul du nombre d'intersections routières est effectué à partir de la BD Topo de l'IGN de 2014 en sélectionnant uniquement certaines intersections afin d'exclure les culs-de-sac et les fins de voies. Notons toutefois une limite mise en évidence par Chatalic (2012) concernant l'utilisation des données IGN : « les segments de rue sont le résultat d'un travail de vectorisation automatique à partir des cartes IGN, et il arrive fréquemment qu'un tronçon de route soit représenté par plusieurs vecteurs consécutifs ... et donc par plusieurs nœuds, qui n'ont aucune réalité géographique ». Le calcul de la longueur totale des trottoirs permet de s'affranchir de ce biais.

### 2.1.6. La vitesse sur les routes

Les données sur les vitesses proviennent toutes de la base Navteq/Here 2014. Cette base contient des informations cartographiques pour l'aide à la navigation des véhicules.

Dans le cadre de la construction d'un indicateur de marchabilité, les variables sur la vitesse sont utilisées pour caractériser la perception qu'un résident peut avoir de son environnement immédiat. Le postulat de départ est qu'un quartier « apaisé », c'est-à-dire où les vitesses de circulation sont faibles, procure un sentiment de sécurité pour les piétons et les cyclistes (Zuniga-Tera et al., 2016) et limite aussi les nuisances en termes de bruit et de pollution, ce qui devrait favoriser la pratique de mobilités actives.

- **La vitesse limite maximale et la vitesse limite minimale**

La base Navteq/Here indique la vitesse limite autorisée sur chaque tronçon de route. La vitesse maximale (resp. minimale) correspond au maximum (resp. minimum) des vitesses renseignées sur les tronçons de route de chaque carreau.

- **Vitesse limite maximale à 50 km/h et vitesse limite minimale à 30 km/h**

Dans les deux cas, il s'agit d'une variable binaire calculée à partir des variables vitesse maximale et vitesse minimale décrites précédemment.

Dans un carreau, si la vitesse maximale est inférieure ou égale à 50 km/h alors la variable « vitesse maximale à 50 km/h » vaut 1 ; elle vaut 0 dans les autres cas. Cette variable permet d'identifier les carreaux qui ne sont pas traversés par des voies rapides.

Dans un carreau, si la vitesse minimale est inférieure ou égale à 30 km/h alors la variable « vitesse minimale à 30 km/h » vaut 1 ; elle vaut 0 dans les autres cas. Cette variable permet notamment d'identifier les carreaux où ont été mises en place des zones 30 ou des zones de rencontre.

### **2.1.7. La distance au centre de Paris**

La variable distance au centre de Paris a été identifiée car elle présente l'avantage de pouvoir être calculée facilement à partir d'un logiciel SIG : elle représente la distance qui sépare le point central du parvis de Notre-Dame et le centre du carreau. Cette variable rend compte du caractère mono-centrique de la région Île-de-France, notamment en termes de densité. Elle devrait permettre d'introduire dans le modèle une approche centre-périphérie, telle que suggérée par Chatalic (2012).

On s'attend à ce que cette variable géographique soit corrélée négativement avec la pratique de la marche : plus on s'éloigne du centre de Paris et moins les résidents vont utiliser la marche comme mode de transport pour leurs déplacements quotidiens.

Toutefois, cette approche reste assez simpliste et ne permet pas de prendre en compte les pôles secondaires. Il serait utile de réaliser un travail plus fin, par exemple en calculant la distance par rapport au pôle de centralité le plus proche<sup>5</sup>.

### **2.1.8. Le revenu des résidents pour qualifier l'environnement urbain**

Le revenu est souvent considéré comme une caractéristique sociale de l'individu et à ce titre, peut avoir une influence sur les comportements de mobilité et sur la pratique de la marche (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Tran et al., 2014 ; Jouffe et al., 2015).

<sup>5</sup> La notion de pôle de centralité est présente dans les orientations règlementaires du schéma directeur de la région Île-de-France (Sdrif) : les agglomérations des pôles de centralité correspondent au réseau des villes qui ont vocation à mailler l'espace rural ; elles sont définies par la présence du pôle de centralité proprement dit, désignant la commune regroupant les fonctions économiques, les équipements et les services indispensables à la vie quotidienne, et par le reste des communes qui lui sont agglomérées (selon la définition de l'Insee).

Toutefois, le revenu moyen annuel par unité de consommation (UC) est ici interprété comme une variable spatiale si l'on suppose qu'il existe un lien entre le revenu des résidents et la qualité de leur cadre de vie.

Contrairement aux variables précédentes, il n'est pas évident d'anticiper un sens de variation. En première hypothèse, on peut se tourner vers les travaux qui interprètent le revenu comme une caractéristique sociale. Bouleau et Laurent (2016) soulignent qu'en Île-de-France, la marche serait un mode privilégié des ménages modestes, d'après les résultats de l'EGT 2010. De plus, Jouffe et al. (2015) expliquent que les ménages à bas revenu privilégient des destinations proches pour les activités quotidiennes autres que le travail du fait d'un accès plus contraint à l'automobile. Les déplacements de proximité étant plutôt réalisés en marche-à-pied on pourrait s'attendre à une corrélation négative entre le revenu des résidents et la marchabilité du territoire associé.

## 2.2. Récapitulatif des données disponibles

La section précédente a présenté de façon exhaustive l'ensemble des variables spatiales objectives qui peuvent être exploitées pour construire l'indicateur de marchabilité. Le Tableau 5 récapitule les variables décrites précédemment ainsi que les sources utilisées.

On remarque que les variables identifiées et disponibles pour le modèle sont toutes des variables quantitatives et elles ne permettent pas d'apprécier l'aspect qualitatif de l'environnement urbain. Par exemple, le projet MAPISE du programme PREDIT (2014), a mis en évidence que l'aménagement des traversées piétonnes et la qualité des trottoirs sont des points cruciaux pour la marchabilité des séniors (longueur des traversées, absence d'encombrement sur les trottoirs, type de matériau et qualité des revêtements des trottoirs).

De plus, d'autres variables mériteraient d'apparaître dans ce tableau, telles que le bruit, la pollution ou encore l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite. Cependant, le manque d'homogénéité de certaines données à l'échelle de l'Île-de-France voire l'absence de données ne permet pas de les prendre en compte dans le modèle.

Nom de la variable	Sources
Volume bâti	BD Parcellaire 2013 de l'IGN
Nombre de résidents	Revenus fiscaux localisés au 31 décembre 2010 et taxe d'habitation au 1er janvier 2011
Nombre d'équipements	BD Topo 2014 de l'IGN, Éducation Nationale et l'Onisep
Diversité des équipements	BD Topo 2014 de l'IGN, Éducation Nationale et l'Onisep
Nombre de gares TC (tramways, métros, RER et Transiliens)	Stif 2014
Nombre d'arrêts de bus	Stif 2014
Surface de végétation (en m <sup>2</sup> )	BD Topo 2014 de l'IGN
Surface des milieux semi-naturels, espaces ouverts artificiels et forêts (en m <sup>2</sup> )	Mos 2012 de l'IAU
Longueur des trottoirs	BD Topo 2014 de l'IGN
Nombre d'intersections routières	BD Topo 2014 de l'IGN
Vitesse limite maximale sur les routes	Navteq/Here 2014
Vitesse limite minimale sur les routes	Navteq/Here 2014
Vitesse limite maximale à 50 km/h	Navteq/Here 2014
Vitesse limite minimale à 30 km/h	Navteq/Here 2014
Distance au centre (en m)	Calculé par la DRIEA à l'aide d'un logiciel de cartographie
Revenu moyen par unité de consommation	Revenus fiscaux localisés au 31 décembre 2010 et taxe d'habitation au 1er janvier 2011

Tableau 5 : Récapitulatif des données disponibles pour les caractéristiques spatiales

### 2.3. Analyse des corrélations entre les variables spatiales

L'indicateur de marchabilité étant estimé par régression linéaire, il est nécessaire de s'assurer que les variables explicatives testées dans le modèle ne soient pas corrélées trop fortement entre elles<sup>6</sup>. En effet, la présence de corrélation entre les variables explicatives, ici les variables spatiales, conduit à une estimation biaisée des coefficients.

Les résultats des tests effectués indiquent que plusieurs paramètres sont très corrélés entre eux. L'intensité de corrélation est quantifiée à l'aide du coefficient de Pearson qui varie entre -1 et 1.

En particulier, plusieurs variables très proches apparaissent naturellement comme corrélées puisqu'elles représentent des caractéristiques spatiales similaires. C'est par exemple le cas de la longueur des trottoirs et du

<sup>6</sup> Les résultats détaillés des tests de corrélation sont présentés par classe d'âge dans l'annexe 4.

nombre d'intersections qui sont issues de la même source et traduisent la connectivité du réseau viaire (coefficient de 0,90 pour les trois classes d'âge, surligné en bleu dans l'annexe 4). Il est intéressant de constater que le  $BT_{marche}$  est plus fortement corrélé avec la longueur des trottoirs qu'avec le nombre d'intersections ; la variable longueur des trottoirs est donc privilégiée.

De même les deux variables exprimant la surface de végétation mais provenant de sources différentes affichent un coefficient autour de 0,63. On décide alors de conserver la variable issue du Mos car celle-ci affiche une plus forte corrélation avec le  $BT_{marche}$ .

Les variables en lien avec les aménités urbaines sont elles aussi corrélées entre elles (autour de 0,75). Au-delà du nombre d'équipements, leur diversité en un lieu donné permet de mieux quantifier l'intensité urbaine. La variable diversité des équipements présente d'ailleurs une corrélation légèrement supérieure avec le  $BT_{marche}$  ; elle est donc conservée au détriment de la variable nombre d'équipements.

Les variables liées à la vitesse sur les routes sont elles aussi corrélées entre elles puisque les variables vitesse maximale à 50 km/h et vitesses minimale à 30 km/h ont été calculées, respectivement, à partir des variables vitesse maximale et vitesse minimale (entre 0,54 et 0,74). On décide de conserver les variables vitesse maximale à 50 km/h et vitesse minimale à 30 km/h qui semblent plus pertinentes pour jouer le rôle de variables proxy du cadre de vie. De plus elles présentent une corrélation plus forte avec le  $BT_{marche}$ .

Les variables volume du bâti et nombre de résidents sont abandonnées car elles représentent toutes les deux la densité urbaine, caractéristique que l'on peut retrouver via d'autres variables telles que celles sur les aménités. De plus, pour expliquer la pratique de la marche, la notion d'intensité urbaine semble plus riche et plus pertinente que de se limiter à la notion de densité.

Les variables liées à la desserte en transport en commun et la variable distance au centre sont toutes les trois conservées dans un premier temps puisqu'elles ne présentent pas de corrélation trop importante avec les autres variables retenues. On peut également remarquer que la distance au centre présente une corrélation négative avec le  $BT_{marche}$  relativement forte par rapport aux autres variables, notamment pour la classe d'âge la plus jeune.

Enfin, notons que la variable sur le revenu des ménages présente une corrélation avec le  $BT_{marche}$  non significativement différente de 0 pour les trois classes d'âge. Cette variable est donc abandonnée.

La Figure 13 récapitule le processus de choix des variables spatiales qui a conduit à sélectionner les variables suivantes : diversité des équipements, nombre de gares TC, nombre d'arrêts de bus, surface de végétation du Mos, longueur des trottoirs, vitesse maximale à 50 km/h, vitesse minimale à 30 km/h et distance au centre.

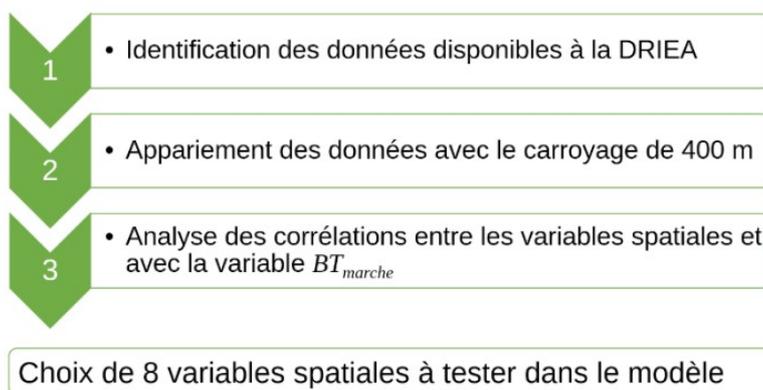


Figure 13 : Processus de choix des variables spatiales

### 3. Quantifier le lien entre variables spatiales et pratique de la marche

L'hypothèse de départ est qu'il existe un lien entre la pratique de la marche (exprimée via la variable  $BT_{marche}$ ) et les caractéristiques spatiales d'un territoire (les huit variables spatiales précédemment identifiées). L'objet de l'étude est de pouvoir quantifier ce lien en construisant un indicateur de marchabilité. Pour ce faire, on estime, par régression linéaire, les coefficients (notés  $a_i$ ) à appliquer devant les variables spatiales envisagées comme étant explicatives de la marche (notées  $p_i$ ) :

$$BT_{marche, observé} = k + \sum_{paramètres_i} a_i * p_i + résidu$$

avec,  $BT_{marche}$  : le budget-temps de marche et  $k$  : la constante de régression

L'estimation des coefficients à l'aide d'un outil statistique permet de vérifier plusieurs points :

- la validité du modèle testé grâce à la statistique F du test de Fisher : une probabilité, notée « Pr » inférieure à 5 % indique que le modèle est valide ;
- le pouvoir explicatif du modèle grâce au coefficient de détermination ajusté, noté «  $R^2$  ajusté », qui tient compte du nombre de paramètres finalement retenu dans le modèle – sa valeur varie entre 0 et 1 ;
- la significativité des paramètres  $p_i$  testés grâce à la statistique t de Student : une probabilité, notée « Pr » inférieure à 5 % indique que la variable est significative.

Une autre approche possible, non développée dans cette étude, serait de construire un modèle de type logit pour estimer la probabilité qu'une personne marche plus de 30 minutes par jour, recommandation inscrite dans le Programme national nutrition santé (PNNS).

#### 3.1. Validité de l'indicateur de marchabilité : analyse de la performance globale du modèle

Le Tableau 6 montre les résultats pour chaque classe d'âge. Le modèle testé est valide pour les trois classes d'âge puisque la probabilité associée au test de Fisher est bien inférieure à 0,05. En revanche, on obtient des coefficients de  $R^2$  ajusté relativement faibles sur une échelle de 0 à 1, avec une performance du modèle un peu moindre pour les individus âgés de 5 à 18 ans.

Ces résultats indiquent deux choses :

- les caractéristiques spatiales ont bien une influence sur la pratique de la marche, ce qui justifie l'utilisation d'un tel modèle pour construire un indicateur de marchabilité,
- l'indicateur de marchabilité obtenu en sommant les variables spatiales pondérées par les coefficients issus de la régression explique seulement 8 % de la variabilité de la variable expliquée, c'est-à-dire la pratique de la marche, traduite dans le modèle par le  $BT_{marche}$  observé dans l'EGT.

Classes d'âge	$R^2$ ajusté	Pr > F
De 5 à 18 ans	0,079	< 0,0001
De 18 à 65 ans	0,083	< 0,0001
Plus de 65 ans	0,083	< 0,0001

Tableau 6 :  $R^2$  ajusté et résultat du test de Fisher

Les valeurs de  $R^2$  ajusté peuvent paraître faibles au premier abord mais ce constat est à nuancer puisque la régression linéaire devait permettre d'estimer de façon objective les coefficients de pondération des variables spatiales, sans prétendre expliquer totalement la pratique de la marche. Des coefficients  $R^2$  ajustés proches de 1 auraient signifié que la marche aurait pu être expliquée presque exclusivement avec les caractéristiques spatiales du territoire. Or, on sait que ce n'est pas le cas et qu'au contraire, de nombreuses variables peuvent influencer la marche : variables démographiques, sociales, comportementales, environnementales, sécurité, etc. Il serait donc illusoire de penser qu'une seule variable ou combinaison de variables suffirait à expliquer une grande partie de la variance.

Par exemple, Tran et al. (2014) rappellent que les pratiques de mobilité dépendent avant tout des modes de vie et donc des caractéristiques socio-économiques des habitants, comme le revenu, le genre ou la composition familiale.

Le modèle développé par Frank et al. (2005) pour mesurer l'impact des caractéristiques spatiales sur l'activité physique obtient d'ailleurs des  $R^2$  légèrement supérieurs mais du même ordre de grandeur (autour de 0,10) et en ajoutant des variables sociodémographiques telles que le genre, l'âge, le niveau d'éducation et la catégorie ethnique. Les auteurs précisent que dans la littérature, rares sont les études qui parviennent à dépasser les 30 % de variance expliquée.

La segmentation par classe d'âge permet de prendre en compte une partie des effets non captés par les variables spatiales. D'autres segmentations pourraient être testées, notamment sur le taux de motorisation ou encore sur le niveau d'éducation puisque les derniers travaux de l'Inserm indiquent que cet aspect est déterminant de la pratique des mobilités actives (projet RECORD).

### **3.2. Les caractéristiques spatiales prises en compte dans l'indicateur de marchabilité**

Au début du processus de régression linéaire, l'ensemble des huit variables spatiales identifiées (Tableau 1) sont mises en entrée du modèle. À l'issue des calculs, les variables qui ne sont pas statistiquement significatives au sens du test de Student sont écartées (probabilité supérieure à 0,05). Le Tableau 7 montre les variables spatiales finalement retenues dans le modèle ainsi que les valeurs de leurs coefficients.

Sur les huit variables testées, cinq ressortent comme significatives, c'est-à-dire qu'elles ont un effet non nul sur la marche. Ces variables sont constitutives de l'indicateur de marchabilité ainsi créé.

- Pour les personnes âgées de 5 à 18 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables surface de végétation, longueur des trottoirs et distance au centre de Paris ;

- Pour les personnes âgées de 18 à 65 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables diversité des équipements (présence d'aménités urbaines et diversité des équipements), surface de végétation, vitesse minimale à 30 km/h (indicateur témoin de la présence d'une route limitée à 30 km/h) et distance au centre Paris ;

- Pour les personnes âgées de plus de 65 ans : l'indicateur de marchabilité est constitué des variables diversité des équipements (présence d'aménités urbaines et diversité des équipements), surface de végétation et la distance au centre de Paris.

Classes d'âge	Paramètres	Forme mathématique	Coefficients	Pr >  t
De 5 à 18 ans	Constante		21.9	0.0252
	Surface de végétation du mos	1/x	25.2	0.0411
	Longueur des trottoirs	x	6.60	0.0018
		x <sup>2</sup>	-0.349	0.0189
	Distance au centre	x	-14.5	< 0,0001
		x <sup>2</sup>	1.40	< 0,0001
De 18 à 65 ans	Constante		44.4	< 0,0001
	Diversité des équipements	ln(x)	4.12	< 0,0001
	Surface de végétation du mos	1/x	18.1	0.0217
	Vitesse minimale à 30 km/h	x <sup>2</sup>	0.0330	0.00483
	Distance au centre	x	-17.8	< 0,0001
		x <sup>2</sup>	1.82	< 0,0001
Plus de 65 ans	Constante		21.6	0.0622
	Diversité des équipements	ln(x)	7.66	< 0,0001
	Surface de végétation du mos	1/x	55.5	0.0045
	Distance au centre	x	-11.4	0.0058
		x <sup>2</sup>	1.09	0.0182

Tableau 7 : Résultats de l'estimation des coefficients

Les variables explicatives sont donc différentes selon les classes d'âge. En particulier, la longueur des trottoirs n'apparaît que chez les jeunes de 5 à 18 ans. Inversement, la diversité des équipements n'est présente que dans l'indicateur de marchabilité pour les deux autres classes d'âge. Ce résultat peut être lié à une moins grande diversité des motifs de déplacement pour les personnes âgées de 5 à 18 ans sur un jour moyen de semaine.

La surface de végétation et la distance au centre interviennent quant à elles dans les trois classes d'âge. On verra par la suite que, contrairement à ce qui avait été anticipé, la surface de végétation est corrélée négativement avec l'indicateur de marchabilité, notamment car elle jouerait plutôt un rôle d'effet de coupure. Cette contrainte s'appliquerait donc aux trois classes d'âge et principalement sur les personnes des plus de 65 ans (coefficient de 55,5) et dans une moindre mesure les personnes de 5 à 18 ans (coefficient de 25,2) et sur la classe intermédiaire des 18-65 ans (coefficient de 18,1).

En revanche, pour la variable géographique de la distance au centre, la classe d'âge intermédiaire est celle qui semble la plus sensible. Ce résultat montre l'existence d'un effet non négligeable de la localisation d'un territoire sur la valeur de l'indicateur de marchabilité. Bien que des pôles secondaires soient aujourd'hui de plus en plus influents, cette variable reflète l'organisation globalement mono-centrique de la région.

### 3.3. Analyse de l'influence des variables spatiales sur l'indicateur de marchabilité

Le sens de variation de l'indicateur de marchabilité est fonction de la forme mathématique appliquée à chaque variable spatiale et du signe du coefficient. La donne, variable par variable, le sens de variation de l'indicateur de marchabilité en fonction des variables spatiales, toutes choses égales par ailleurs.

Conformément à ce qui avait été anticipé dans la section 2.1, l'indicateur de marchabilité est une fonction croissante de la diversité des équipements. De plus, on constate que l'effet sur l'indicateur de marchabilité est non linéaire et qu'il a tendance à s'estomper à partir d'un certain seuil. La longueur des trottoirs et la vitesse sont elles aussi des variables qui réagissent comme prévu, ce qui n'est pas le cas de la surface de végétation et de la distance au centre de Paris.

Pour la surface de végétation, on pourrait s'attendre à une influence positive en milieu urbain, avec par exemple une incitation à marcher lorsqu'il y a un parc dans le carreau de résidence. Inversement, la présence de grands espaces verts tels que des forêts, plutôt situés en périphérie, auraient un effet d'isolement et de baisse de la pratique de la marche pour les personnes qui habitent dans ces espaces. Finalement le modèle aboutit à une forme mathématique qui a tendance à faire décroître l'indicateur de marchabilité lorsque la surface de végétation augmente.

Si ce résultat peut sembler surprenant, il indique en fait que l'effet d'isolement et l'effet de coupure prennent le pas, à l'échelle de la région, sur l'incitation à marcher que pourrait susciter la présence d'un espace vert. Rappelons que l'indicateur de marchabilité développé dans cette étude ne concerne pas la marche récréative mais uniquement la marche transport comme moyen de déplacement quotidien.

De plus, l'indicateur est donné au niveau du carreau de résidence et son calcul tient compte des déplacements et trajets au départ ou à destination du domicile. Or, l'influence d'un paramètre tel que la végétation devrait être pris en compte sur le long du parcours.

Par ailleurs, ce résultat corrobore ceux de Chatalic (2012) qui a développé un modèle pour caractériser la marchabilité de l'agglomération lyonnaise. L'auteur interprète la marchabilité comme un choix modal piétonnier et le modèle obtenu indique que la couverture végétale influence de façon négative la marchabilité.

Concernant la variable sur la distance au centre de Paris, interprétée comme un gradient de densité en termes de population, de bâti et d'aménités, le postulat de départ était une influence négative de la distance sur la marchabilité. Toutefois l'estimation du modèle conduit à une fonction mathématique en forme de cuvette : l'effet s'inverse à partir d'une certaine distance au centre.

Ce phénomène pourrait indiquer que l'aire d'influence de la métropole parisienne est forte tant que la distance entre le carreau de résidence et le centre de Paris reste en-dessous d'un certain seuil. Puis, le mécanisme centre-périphérie aurait tendance à s'estomper, voire à s'inverser.

Ce résultat est à interpréter avec précaution du fait de la variable étudiée. En effet, par souci de simplification, la distance a été calculée en prenant comme référence uniquement le centre de Paris. Or, il serait plus pertinent de prendre en compte la distance entre le carreau de résidence et le centre-ville le plus proche. Une autre approche possible serait d'introduire la distinction centre-périphérie en utilisant des variables indicatrices qui vaudraient 1 ou 0 selon la localisation du carreau de résidence (zone centrale ou zone périphérique par exemple).

Enfin, l'influence de cette variable est surtout visible sur les cartes à l'échelle régionale (voir section 2) et non sur les cartes représentant les variations de l'indicateur de marchabilité à l'intérieur d'une commune (voir section 3), échelle à laquelle l'indicateur a pour vocation de servir d'outil de diagnostic.

## Annexe 3 : Détail méthodologique sur l'élaboration du modèle

### Les logiciels employés

Pour les questions cartographiques, c'est-à-dire l'extraction des données issues des bases géolocalisées, l'emploi de logiciels différents n'impactent pas les résultats. Par défaut, Qgis a été utilisé.

Pour le calibrage du modèle, le logiciel SAS a été retenu car il s'agit du logiciel usuellement employé dans le service et pour lequel les agents sont le mieux formés. La modélisation est faite avec la procédure « proc glm » qui permet des analyses de variances de modèle linéaire, entre autres.

### Le codage sous SAS

Deux programmes sous SAS permettent de mettre en forme les données issues des différentes extractions sous une forme exploitable par un troisième programme.

Ce troisième programme constitue le cœur de la modélisation. À partir des données d'entrée, l'utilisateur choisit les variables de modélisation qui l'intéressent.

La liste des variables peut donc être gérée de façon automatique dans le troisième programme. À l'inverse la segmentation ne l'est pas, il est donc nécessaire d'adapter les programmes aux besoins. Cette différence explique l'existence de plusieurs versions, chacune correspondant à une segmentation particulière.

### Formule du modèle

Parmi les différentes procédures existant sous SAS, a été retenue la procédure GLM. Celle-ci offre de nombreux avantages :

- modélisation multi-linéaire,
- calcul automatique  $R^2$  du modèle,
- paramètres pouvant être des variables numériques continues ou des variables discrètes.

La réponse recherchée est de la forme suivante :

$$BT_{marche, observé} = k + \sum_{paramètres_i} a_i * p_i + résidu$$

avec,  $BT_{marche}$  : le budget-temps de marche et k : la constante de régression

## Formes mathématiques testées par le programme

Différentes formes mathématiques de la variable (paramètre) sont testées pour obtenir le meilleur  $R^2$  (pouvoir explicatif du modèle) :

- $\text{variable\_0} = \text{variable}$
- $\text{variable\_1} = 1 / \text{variable}$
- $\text{variable\_2} = \text{variable}^2$
- $\text{variable\_3} = \ln(\text{variable})$
- $\text{variable\_4} = \exp(\text{variable})$
- $\text{variable\_5} = \text{variable} + \text{variable}^2$
- $\text{variable\_6} = \sqrt{\text{variable}}$

La meilleure forme mathématique est sélectionnée en fonction du paramètre mais pas pour chaque classe d'âge.

## Au niveau des données utilisées de l'EGT 2010

Comme l'intérêt du modèle est de tester l'existence d'un lien entre les caractéristiques spatiales et la marche, ce sont les données observées de la plus grande majorité de la population qui nous intéressent. De ce fait, les données extrêmes sont enlevées des bases de données : les déplacements ou trajets supérieurs à 5 km, les individus dont le budget-temps de marche dans la journée est supérieur à 60 minutes, et les déplacements liés aux tournées professionnelles

# Annexe 4 : Corrélations entre les variables spatiales et la marche

Clé de lecture : dans les tableaux qui suivent, les valeurs supérieures à 0,65 en valeur absolue sont surlignées en bleu pour indiquer une forte corrélation entre les variables potentiellement explicatives. La première ligne de chiffres montre la corrélation entre la variable à expliquer (notée « bt marche ») et les variables potentiellement explicatives (dégradé allant du vert pour la valeur négative maximale au rouge pour la valeur positive maximale).

Tableau 8 : Tables de Person

Age 1		Coefficients de corrélation de Pearson, N = 2764 (Probab >  r  sous H0: Rho=0)															
	bt marche	volume	long.trot.	nb inters.	végétation	mos	distance	gare	bus	pop	revenu	vit max	vit min	vit 30	vit max 50	div. équip.	nb équip.
bt marche	1.00000	0.17627	0.20894	0.18558	-0.10603	-0.14074	-0.22146	0.08630	0.07362	0.19224	-0.02208	-0.10058	0.02647	0.11063	0.15359	0.14190	0.12954
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.00010	<.0001	0.24580	<.0001	0.16410	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
volume	0.17627	1.00000	0.36794	0.30612	-0.26338	-0.38190	-0.51929	0.44039	0.32865	0.82828	0.13798	-0.27689	-0.10154	0.28705	0.35093	0.72244	0.74557
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
long.trot.	0.20894	0.36794	1.00000	0.89539	-0.16545	-0.22299	-0.41011	0.18277	0.40348	0.42599	0.12354	-0.23683	-0.01385	0.39549	0.40854	0.39565	0.34030
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.46660	0.35581	0.35881	0.37038	0.32046
nb inters.	0.18558	0.30612	0.89539	1.00000	-0.17911	-0.17980	-0.30460	0.14561	0.36832	0.36423	0.09121	-0.22245	-0.04694	0.35550	0.35881	0.37038	0.32046
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.01360	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
végétation	-0.10603	-0.26338	-0.16545	-0.17911	1.00000	0.63675	0.03695	-0.08744	-0.15303	-0.22321	0.02968	0.14457	-0.12756	-0.03479	-0.20713	-0.20241	-0.18641
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
mos	-0.14074	-0.38190	-0.22299	-0.17980	0.63675	1.00000	0.29101	-0.16499	-0.21550	-0.35142	-0.21901	0.28846	-0.14874	-0.13990	-0.40079	-0.26277	-0.24082
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
distance	-0.22146	-0.51929	-0.41011	-0.30460	0.29101	0.00000	1.00000	-0.23909	-0.21736	-0.53785	-0.13810	0.27901	0.08854	-0.37235	-0.35840	-0.35794	-0.35708
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
gare	0.08630	0.44039	0.18277	0.14561	-0.08744	-0.16499	-0.23909	1.00000	0.26666	0.36776	0.04671	-0.08379	-0.08304	0.14970	0.11271	0.36062	0.37700
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
bus	0.07362	0.32865	0.40348	0.36832	-0.15303	-0.21550	-0.21736	0.26666	1.00000	0.30433	0.04611	-0.14623	-0.01072	0.22305	0.24712	0.35447	0.30694
P.	0.00010	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.01530	<.0001	0.57310	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
pop	0.19224	0.82828	0.42599	0.36423	-0.22321	-0.35142	-0.53785	0.36776	0.30433	1.00000	0.05486	-0.29330	-0.11932	0.31899	0.38343	0.65834	0.65467
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.00390	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
revenu	-0.02208	0.13798	0.12354	0.09121	0.02968	-0.21901	-0.13810	0.04671	0.04611	0.05486	1.00000	-0.14284	0.14540	0.12251	0.25686	0.09598	0.08466
P.	0.24580	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.01400	0.03990	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit max	-0.10058	-0.27689	-0.23683	-0.22245	0.14457	0.28846	0.27901	-0.08379	-0.14623	-0.29330	-0.14284	1.00000	0.02026	-0.17488	-0.73662	-0.24223	-0.22188
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.28690	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min	0.02647	-0.10154	-0.01385	-0.04694	-0.12756	-0.14874	0.08854	-0.08304	-0.01072	-0.11932	0.14540	0.02026	1.00000	-0.55659	0.15843	-0.10530	-0.12048
P.	0.16410	<.0001	<.0001	0.46660	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.57310	<.0001	<.0001	0.28690	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min 30	0.11063	0.28705	0.39549	0.35550	-0.03479	-0.13990	-0.37235	0.14970	0.22305	0.31899	0.12251	-0.17488	1.00000	0.28552	0.31712	0.26965	0.26965
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.06740	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit max 50	0.15359	0.35093	0.40854	0.35881	-0.20713	-0.40079	-0.35840	0.11271	0.24712	0.38343	0.25686	-0.73662	0.15843	1.00000	0.32220	0.28701	0.28701
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
div. équip.	0.14190	0.72244	0.39565	0.37038	-0.20241	-0.26277	-0.35794	0.36062	0.35447	0.65834	0.09598	-0.24223	-0.10530	0.31712	0.32220	1.00000	0.87393
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
nb équip.	0.12954	0.74557	0.34030	0.32046	-0.18641	-0.24082	-0.35708	0.37700	0.30694	0.65467	0.08466	-0.22188	-0.12048	0.26965	0.28701	0.87393	1.00000
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Coefficients de corrélation de Pearson, N = 5081 (Proba >  r  sous H0: Rho=0)																	
Age 2	bt marche	volume	long.trot.	nb inters.	végétation	mos	distance	gare	bus	pop	revenu	vit max	vit min	vit min 30	vit max 50	div. equip.	nb equip.
bt marche	1.0000	0.2659	0.1476	0.1183	-0.1000	-0.1341	-0.1964	0.1196	0.1061	0.2557	-0.0112	-0.0767	-0.0304	0.1363	0.1140	0.2155	0.2118
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
volume	0.2659	1.0000	0.3773	0.3143	-0.2706	-0.3737	-0.5098	0.4229	0.3194	0.8139	0.1475	-0.2565	-0.0808	0.2858	0.3499	0.7148	0.7470
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
long.trot.	0.1476	0.3773	1.0000	0.8980	-0.1908	-0.2362	-0.4139	0.1779	0.3831	0.4236	0.1763	-0.2034	-0.0117	0.4017	0.3996	0.3811	0.3303
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
nb inters.	0.1183	0.3143	0.8980	1.0000	-0.2009	-0.1979	-0.3023	0.1449	0.3603	0.3628	0.1378	-0.1896	-0.0428	0.3628	0.3544	0.3574	0.3091
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
végétation	-0.1000	-0.2706	-0.1908	-0.2009	1.0000	0.6529	0.0768	-0.0863	-0.1635	-0.2317	-0.0096	0.1126	-0.1278	-0.0622	-0.2232	-0.2084	-0.1877
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
mos	-0.1341	-0.3737	-0.2362	-0.1979	0.6529	1.0000	0.3123	-0.1558	-0.2239	-0.3534	-0.2445	0.2386	-0.1662	-0.1515	-0.4020	-0.2554	-0.2349
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
distance	-0.1964	-0.5098	-0.4139	-0.3023	0.0768	0.3123	1.0000	-0.2306	-0.2170	-0.5314	-0.1730	0.2496	0.0418	-0.3709	-0.3612	-0.3535	-0.3501
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
gare	0.1196	0.4229	0.1779	0.1449	-0.0863	-0.1558	-0.2306	1.0000	0.2709	0.3332	0.0448	-0.0904	-0.0675	0.1439	0.1332	0.3319	0.3517
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
bus	0.1061	0.3194	0.3831	0.3603	-0.1635	-0.2239	-0.2170	0.2709	1.0000	0.2872	0.0719	-0.1409	0.0020	0.2226	0.2548	0.3336	0.2898
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
pop	0.2557	0.8139	0.4236	0.3628	-0.2317	-0.3534	-0.5314	0.3332	0.2872	1.0000	0.0822	-0.2712	-0.0933	0.3114	0.3808	0.6469	0.6464
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
revenu	-0.0112	0.1475	0.1763	0.1378	-0.0096	-0.2445	-0.1730	0.0448	0.0719	0.0822	1.0000	-0.1229	0.1437	0.1455	0.2796	0.1228	0.1035
P.	0.4251	<.0001	<.0001	<.0001	0.4932	<.0001	<.0001	0.0014	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit max	-0.0767	-0.2565	-0.2034	-0.1896	0.1126	0.2386	0.2496	-0.0904	-0.1409	-0.2712	-0.1229	1.0000	0.0080	-0.1533	-0.6943	-0.2283	-0.2077
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min	-0.0304	-0.0808	-0.0117	-0.0428	-0.1278	-0.1662	0.0418	-0.0675	0.0020	-0.0933	0.1437	0.0080	1.0000	-0.5400	0.1953	-0.0959	-0.1080
P.	0.0300	<.0001	0.4062	0.0023	<.0001	<.0001	0.0029	<.0001	0.8993	<.0001	<.0001	0.5701	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min 30	0.1363	0.2858	0.4017	0.3628	-0.0622	-0.1515	-0.3709	0.1439	0.2226	0.3114	0.1455	-0.1533	-0.5400	1.0000	0.2669	0.3120	0.2673
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit max 50	0.1140	0.3499	0.3996	0.3544	-0.2232	-0.4020	-0.3612	0.1332	0.2548	0.3808	0.2796	-0.6943	0.1953	0.2669	1.0000	0.3263	0.2864
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
div. equip.	0.2155	0.7148	0.3811	0.3574	-0.2084	-0.2554	-0.3535	0.3319	0.3336	0.6469	0.1228	-0.2283	-0.0959	0.3120	0.3263	1.0000	0.8756
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
nb equip.	0.2118	0.7470	0.3303	0.3091	-0.1877	-0.2349	-0.3501	0.3517	0.2898	0.6464	0.1035	-0.2077	-0.1080	0.2673	0.2864	0.8756	1.0000
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Coefficients de corrélation de Pearson, N = 1455 (Proba > |r| sous H0: Rho=0)

Age 3	bt marche	volume	long.trot.	nb inters.	végétation	mos	distance	gare	bus	pop	revenu	vit max	vit min	vit min 30	vit max 50	div. équip.	nb équip.
bt marche	1.0000	0.2708	0.1708	0.1516	-0.1454	-0.1679	-0.2051	0.0874	0.1057	0.2580	0.0520	-0.1015	-0.0298	0.1131	0.1303	0.2508	0.2414
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
volume	0.2708	1.0000	0.3547	0.2744	-0.3313	-0.3920	-0.5406	0.4373	0.3200	0.8296	0.1846	-0.2782	-0.1313	0.2792	0.3715	0.7855	0.7834
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
long.trot.	0.1708	0.3547	1.0000	0.8992	-0.2158	-0.2204	-0.4212	0.2211	0.3683	0.3889	0.1078	-0.2486	-0.1062	0.3768	0.3843	0.3804	0.3177
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
nb inters.	0.1516	0.2744	0.8992	1.0000	-0.2060	-0.1708	-0.2947	0.1670	0.3430	0.3088	0.0756	-0.2213	-0.1090	0.3285	0.3476	0.3340	0.2843
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
végétation	-0.1454	-0.3313	-0.2158	-0.2060	1.0000	0.6737	0.0880	-0.1231	-0.2041	-0.2898	-0.0752	0.1657	-0.0739	-0.1287	-0.2595	-0.2553	-0.2288
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
mos	-0.1679	-0.3920	-0.2204	-0.1708	0.6737	1.0000	0.3234	-0.1604	-0.2444	-0.3696	-0.3231	0.2909	-0.1466	-0.1341	-0.4005	-0.2913	-0.2567
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
distance	-0.2051	-0.5406	-0.4212	-0.2947	0.0880	0.3234	1.0000	-0.2639	-0.2273	-0.5536	-0.1932	0.2861	0.0729	-0.3503	-0.3850	-0.4300	-0.4085
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
gare	0.0874	0.4373	0.2211	0.1670	-0.1231	-0.1604	-0.2639	1.0000	0.2784	0.3324	0.0593	-0.1265	-0.0959	0.1610	0.1705	0.3764	0.4000
P.	0.0009	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
bus	0.1057	0.3200	0.3683	0.3430	-0.2041	-0.2444	-0.2273	0.2784	1.0000	0.2679	0.0954	-0.1538	-0.0241	0.2033	0.2505	0.381	0.2750
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
pop	0.2580	0.8296	0.3889	0.3088	-0.2898	-0.3696	-0.5536	0.3324	0.2679	1.0000	0.0828	-0.2793	-0.1472	0.2970	0.3733	0.6803	0.6339
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
revenu	0.0520	0.1846	0.1078	0.0756	-0.0752	-0.3231	-0.1932	0.0593	0.0954	0.0828	1.0000	-0.1870	0.1346	0.0949	0.2777	0.1420	0.1259
P.	0.0472	<.0001	<.0001	0.0039	0.0041	<.0001	<.0001	0.0238	0.0003	0.0016	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001
vit max	-0.1015	-0.2782	-0.2486	-0.2213	0.1657	0.2909	0.2861	-0.1265	-0.1538	-0.2793	-0.1870	1.0000	0.0111	-0.1618	-0.6918	-0.2486	-0.2213
P.	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.6717	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min	-0.0298	-0.1313	-0.1062	-0.1090	-0.0739	-0.1466	0.0729	-0.0959	-0.0241	-0.1472	0.1346	0.0111	1.0000	-0.6138	0.1796	-0.1457	-0.1476
P.	0.2557	<.0001	<.0001	<.0001	0.0048	<.0001	0.0054	0.0003	0.3587	<.0001	<.0001	0.6717	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit min 30	0.1131	0.2782	0.3768	0.3285	-0.1287	-0.1341	-0.3503	0.1610	0.2033	0.2970	0.0949	-0.1618	-0.6138	1.0000	0.2499	0.2996	0.2555
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
vit max 50	0.1303	0.3715	0.3843	0.3476	-0.2595	-0.4005	-0.3850	0.1705	0.2505	0.3733	0.2777	-0.6918	0.1796	0.2499	1.0000	0.3403	0.2952
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
div. équip.	0.2508	0.7855	0.3804	0.3340	-0.2553	-0.2913	-0.4300	0.3764	0.3381	0.6803	0.1420	-0.2486	-0.1457	0.2996	0.3403	1.0000	0.8789
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
nb équip.	0.2414	0.7834	0.3177	0.2843	-0.2288	-0.2567	-0.4085	0.4000	0.2750	0.6339	0.1259	-0.2213	-0.1476	0.2555	0.2952	0.8789	1.0000
P.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001



**Direction régionale et interdépartementale de  
l'Équipement et de l'Aménagement**

**ÎLE-DE-FRANCE**

21-23 rue Miollis

75732 Paris Cedex 15

Tél : 33 (01) 40 61 80 80

Fax : 33 (01) 40 61 85 85



Dépôt légal : JANVIER 2018

ISBN : 978-2-11-151894-0

Maquette, mise en page : DRIEA / SCEP / M. Clément