

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE ET
DE L'ÉCOLE DES HAUTES ETUDES EN SANTE PUBLIQUE

Spécialité : Epidémiologie

Ecole Doctorale 393 Pierre Louis de Santé Publique – Epidémiologie et Sciences de l'Information Biomédicale

Présentée par

Cinira LEAL (LEFEVRE)

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR

de l'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE et DE L'ÉCOLE DES HAUTES ETUDES EN SANTE PUBLIQUE

Sujet de la thèse

LES ENVIRONNEMENTS RESIDENTIELS ET L'OBESITE :
L'APPLICATION DE TECHNIQUES D'APPARIEMENT POUR ESTIMER LES RELATIONS

Soutenue le 24 octobre 2011

Devant le jury composé de :

Basile CHAIX	Chargé de Recherche	Directeur de thèse
Archana SINGH-MANOUX	Directrice de Recherche	Rapporteur
Tracie BARNETT	Professeur Université de Montréal	Rapporteur
Dominique Costagliola	Directrice de Recherche	Examineur
Denis BARD	Professeur EHESP	Examineur
Thierry LANG	Professeur Université Toulouse 3	Examineur

Thèse réalisée dans l'unité INSERM UMR-S 707 : Epidémiologie, Systèmes d'information, Modélisation" au sein du groupe RECORD " Residential Environment and CORonary heart Disease ".

A mon cher époux Clément

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Basile Chaix, mon directeur de thèse, de m'avoir donnée l'opportunité de réaliser cette thèse, de m'avoir épaulée et d'avoir été toujours très disponible pour m'aider au cours de ces trois années de travail.

Je remercie sincèrement les rapporteurs de cette thèse, Archana Singh-Manoux et Tracie Barnett, de me faire l'honneur de consacrer de leur temps précieux à la lecture de ce manuscrit. Je remercie aussi Dominique Costagliola, Denis Bard et Thierry Lang d'avoir accepté d'examiner ce travail en participant à ce jury de thèse.

Je remercie Guy Thomas et Pierre Chauvin, directeur de l'Unité Inserm 707 et responsable d'équipe au sein de cette unité, de m'avoir accueillie et d'avoir assuré les conditions matérielles et logistiques favorables au bon déroulement de ce travail.

Je remercie également Olivier Thomas, directeur du Réseau Doctoral de l'Ecole des Hautes Etudes de Santé Publique, de m'avoir accueillie au sein de l'Ecole et de m'avoir donné l'opportunité de participer au Réseau Doctoral, où j'ai bénéficié d'échanges et de cours très formateurs.

Je tiens à remercier vivement l'ensemble des protagonistes et des partenaires de l'Etude RECORD. Merci aux partenaires du Centre d'Investigations Préventives et Cliniques, Kathy, Frédérique et Bruno, pour leur soutien logistique et méthodologique dans le cadre de l'Etude RECORD. Un grand merci également aux partenaires de l'INSEE, particulièrement à Jean-Luc Lipatz et à Pascale Breuil, de nous avoir permis d'accéder aux ressources-logicielles et aux données de leur Institut.

Je remercie également mes collègues de travail, anciens et actuels, rencontrés pendant ces trois années, pour leurs sourires qui ont rendu ce travail de thèse plus agréable. Je tiens à remercier particulièrement David, mon ancien collègue de bureau, pour son grand soutien et son partage d'expérience très enrichissant. Merci aussi à tous ceux qui sont passés par l'équipe RECORD ou par l'Unité 707 au cours de ces trois années,

Andraea, Anne-Laure, Camille, Cécile, Karima, Julie, Nathalie, Noëlla, Sabrina ... et tant d'autres qui m'ont soutenue et avec qui j'ai passé des moments fort agréables.

Je remercie chaleureusement ceux qui ont toujours été là pour moi de façon inconditionnelle, ma famille, française et brésilienne, et mes amis. A mon cher époux, un énorme merci pour son soutien, sa compréhension et son aide de tous les instants. A mes parents, mes beaux-parents, mon frère, mes belles-sœurs pour leur soutien permanent. A mes amis, particulièrement à Anne-Laure, pour son aide et appui depuis notre rencontre.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance aux trois relecteurs de ce manuscrit : Clément, Anne-Laure et Andraea.

RESUME

Face aux inégalités géographiques de prévalence d'obésité rapportées dans la littérature, et au manque d'études réalisées en France, nous nous sommes intéressés dans le cadre de cette thèse aux relations empiriques entre les caractéristiques sociodémographiques, physiques, sociales et liées aux services des environnements résidentiels et deux indicateurs d'obésité, l'indice de masse corporelle (IMC) et le tour de taille (TT). Parallèlement à l'étude de ces relations, notre objectif méthodologique étant d'explorer certains problèmes liés aux techniques d'analyses employées, notamment ceux associés à l'analyse de variables fortement corrélées.

Après un travail de revue systématique de la littérature sur notre thématique de recherche et sur les problèmes méthodologiques associés, nous avons conduit des analyses à partir des données individuelles et environnementales regroupées dans l'Etude RECORD (Residential Environment and CORonary heart Disease) concernant 7290 adultes résidents de la région Ile-de-France. Ces analyses se sont d'abord focalisées sur la dimension socioéconomique de l'environnement et ensuite ont intégré aussi les dimensions physiques, sociales et de services.

Dans la première partie des analyses, nous avons examiné si les caractéristiques socioéconomiques des environnements résidentiels étaient associées à l'IMC et/ou au TT. Nous avons utilisé l'appariement sur les scores de propension à être exposé pour vérifier si le niveau de ségrégation socio-spatiale de notre zone d'étude permettait d'estimer ces associations après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel. Les résultats de ces analyses empiriques nous ont permis de mettre en évidence que les environnements résidentiels socioéconomiquement défavorables sont associés à des niveaux d'IMC et de TT plus élevés après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel, et que ces résultats ne sont pas basés sur des extrapolations excessives des modèles de régression. L'appariement sur le score de propension a montré qu'il existait un chevauchement dans la probabilité d'être exposé pour les résidents des quartiers

favorisés et défavorisés, ce qui nous a permis d'estimer les effets du niveau socioéconomique de l'environnement résidentiel après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel.

Dans la seconde partie des analyses, nous avons examiné si au-delà des aspects socioéconomiques, les caractéristiques physiques, sociales et liées aux services des environnements résidentiels étaient associées à l'IMC et/ou au TT. Nous avons cherché à voir s'il était possible de démêler les effets de ces variables environnementales très corrélées, en utilisant deux approches différentes : l'ajustement multiple et l'appariement sur une caractéristique environnementale spécifique. Les résultats de ces analyses ont montré que l'IMC et le TT étaient négativement associés aux caractéristiques environnementales qui reflétaient des fortes densités d'environnement bâti et de services (par exemple, la proportion de surface bâtie, la densité de magasins de fruit/légumes et de restaurants). Les approches utilisées ont montré qu'il n'était pas possible de séparer les effets des différentes composantes environnementales sur le phénomène, particulièrement lorsque ces facteurs renvoient à des densités qui sont très corrélées entre elles.

Pour conclure, nous avons observé que les caractéristiques socioéconomiques des environnements résidentiels étaient associées à l'IMC et au TT et que ces estimations pouvaient être obtenues sans avoir recours à des extrapolations excessives des modèles de régression, malgré le niveau de ségrégation socio-spatial existant. Nous avons par ailleurs trouvé que certaines caractéristiques physiques et liées aux services de l'environnement résidentiel étaient associées au statut pondéral, même s'il était impossible de démêler ces effets, du fait des niveaux élevés de corrélation existant entre ces diverses variables environnementales. Il est donc plus prudent de conclure à un effet protecteur global des densités envisagées. Des approches alternatives définissant des typologies de quartiers pourront apporter d'autres éléments de réponses à la compréhension de cette thématique.

Mots clés : *Caractéristiques résidentielles, indice de masse corporelle, tour de taille, méthodes épidémiologiques, techniques d'appariement*

ABSTRACT

In order to assess geographic inequalities related to the prevalence of obesity previously reported in the literature, and to deal with the gap of studies conducted so far in France, we investigated in this PhD thesis the relationships between neighbourhood sociodemographic, physical, social, and service-related characteristics and two obesity indicators, body mass index (BMI) and waist circumference (WC). Besides the study of these associations, we had the methodological objective to explore some problems related to the analyses of these relationships, notably those related to the strong correlation among variables.

After a systematic literature review on our research subject and on the methodological problems associated, we conducted analyses using individual and environmental data from RECORD Study (Residential Environment and CORonary heart Disease) regarding 7290 adults residents from the Paris region. These analyses firstly focused on the socioeconomic dimension of the environment and later also integrated the physical, social, and service dimensions.

In the first part of the analyses, we investigated whether socioeconomic characteristics of the residential environments were associated with BMI and/or with WC and in parallel we used propensity score matching to examine whether the level of socio-spatial segregation in our study territory allowed us to estimate these associations after adjustment for individual socioeconomic characteristics. The results showed that low socioeconomic environments were associated with higher levels of BMI and WC after adjustment for the individual socioeconomic characteristics, and that these results were not based on excessive model extrapolations. The propensity score matching showed that there was an overlap in our sample in the probability to be exposed for residents from low and high socioeconomic neighbourhoods which allowed us to estimate these neighbourhood effects after adjustment for individual socioeconomic characteristics.

In the second part of the analyses, we examined whether, in addition to the socioeconomic environment, physical, social, and service-related neighbourhood characteristics were associated with BMI/WC, and further assessed whether the effects of these highly correlated variables could be disentangled using two distinct approaches: multiple adjustment and neighbourhood characteristic-matching technique. The results showed that BMI and WC were negatively associated with environmental characteristics reflecting strong densities of the built environment and services (for example, the proportion of built surface, the density of fruit/vegetables stores and restaurants). The approaches followed showed that it is not possible to separate the effects of these different environmental components on the phenomenon, particularly when the factors were highly correlated.

In conclusion, we observed that neighbourhood socioeconomic status was associated with BMI and with WC and that these estimations could be obtained without excessive model extrapolations despite the socio-spatial segregation level. We further observed that some physical and service-related neighbourhood characteristics were associated with weight status even if it was not possible to separate these environmental effects that were highly correlated. So far, it is prudent to conclude on a global protecting effect of high densities. Alternative approaches defining neighbourhood typologies might help in the comprehension of this research subject.

Keywords: *Residence Characteristics, Body Mass Index, Waist Circumference, Epidemiologic Methods, Matching techniques*

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	5
RESUME	7
ABSTRACT	9
SOMMAIRE	11
VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE	14
Articles publiés	14
Articles soumis	15
Articles à soumettre	15
Communications	15
LISTE DES ABREVIATIONS	17
LA STRUCTURE DE CE MANUSCRIT	18
OBJECTIFS DE LA THESE.....	19
CHAPITRE 1	20
INTRODUCTION	20
1.1. L'OBESITE	20
1.1.1. De l'histoire au problème de santé publique actuel	20
1.1.2. La situation du problème dans le monde et en France	21
1.1.3. Définition et indicateurs de mesure	22
1.1.4. Les principaux facteurs de risque	24
1.2. LES INEGALITES GEOGRAPHIQUES D'OBESITE	26
1.3. L'ENVIRONNEMENT	27
1.4. LES RELATIONS ENTRE ENVIRONNEMENT ET OBESITE.....	29
1.4.1. Les hypothèses : comment l'environnement pourrait-il influencer la prise de poids ?	29

1.4.2. Les problèmes méthodologiques associés	31
Séparer les effets individuels des effets environnementaux	31
Séparer les effets environnementaux entre eux.....	32
1.4.3 Synthèse des connaissances actuelles	33
1.5. PRESENTATION DE L'ARTICLE DE REVUE DE LITERATURE	34
1.6. ARTICLE INTEGRAL	37
APPENDICES.....	51
CHAPITRE 2	59
ELEMENTS GENERAUX DE METHODE	59
2.1. LES BASES DE DONNEES UTILISEES.....	59
2.1.1. Les données individuelles.....	59
L'Etude RECORD.....	59
Le contexte et les objectifs.....	59
Le territoire d'étude	60
Le recrutement des participants.....	61
Les données collectées.....	62
2.1.2. Les données environnementales	63
La mesure des variables environnementales	64
2.2. LES ANALYSES STATISTIQUES.....	65
2.2.1. Les modèles statistiques	65
2.2.2. Les méthodes d'appariement.....	66
L'appariement sur le score de propension	66
L'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier	68
CHAPITRE 3	70
LES RELATIONS ENTRE LE NIVEAU SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ET LES INDICATEURS D'OBESITE	70
3.1. PRESENTATION DE L'ARTICLE	70
3.2. ARTICLE INTEGRAL	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

CHAPITRE 4	74
LES RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, SOCIALES ET LIEES AUX SERVICES DE L'ENVIRONNEMENT ET LES INDICATEURS D'OBESITE	74
4.1. PRESENTATION DE L'ARTICLE	74
4.2. ARTICLE INTEGRAL	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
APPENDICES.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
CHAPITRE 5	77
DISCUSSION GENERALE.....	77
5.1. LES PRINCIPAUX RESULTATS	77
5.2. LES INNOVATIONS METHODOLOGIQUES.....	79
5.3. LES LIMITES ASSOCIEES.....	82
5.4. L'INTERET DE SANTE PUBLIQUE DES TRAVAUX REALISES.....	84
CONCLUSION	86
PERSPECTIVES	88
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	90

Articles publiés

Leal C, Chaix B. The influence of geographic life environments on cardiometabolic risk factors: a systematic review, a methodological assessment, and a research agenda. *Obesity Reviews* 2011;12:217-30.

Leal C, Bean K, Thomas F, Chaix B. Are the associations between ego-centered neighborhood socioeconomic characteristics and body mass index or waist circumference based on model extrapolations? *Epidemiology* 2011;22:1-9.

Chaix B, **Leal C**, Evans D. Neighborhood-level confounding in epidemiologic studies: unavoidable challenges, uncertain solutions. *Epidemiology* 2010;21:124-127.

Chaix B, Bean K, **Leal C**, Thomas F, Havard S, Evans D, Jégo B, Pannier B. Individual/neighborhood social factors and blood pressure in the RECORD Cohort Study: which risk factors explain the associations? *Hypertension* 2010;55:769-75.

Chaix B, Merlo J, Evans D, **Leal C**, Havard C. Commentary: Neighbourhoods in eco-epidemiologic research – delimiting personal exposure areas. *Soc Sci Med* 2009;69:1306-1310.

Chaix B, Kestens Y, Bean K, **Leal C**, Karusisi N, Meghiref K, Burban J, Fon Sing M, Perchoux C, Thomas F, Merlo J, Pannier B. Cohort profile: residential and non-residential environments, individual activity spaces, and cardiovascular risk factors and diseases: the RECORD Cohort Study. *International Journal of Epidemiology* 2011; in press.

Articles soumis

Leal C, Bean K, Thomas F, Chaix B. Neighborhood sociodemographic, physical, service-related, and social-interactive characteristics and body mass index or waist circumference in the RECORD Study: using matching techniques to assess whether the associations are separable. Submitted to the American Journal of Epidemiology (3 June 2011).

Chaix B, Billaudeau N, Bean K, **Leal C**, Daniel M, Havard S, Thomas F, Karusisi N, Kestens Y, Weber C, Oppert JM, Simon C, Merlo J, Pannier B. Associations of Supermarket Characteristics with Weight Status and Abdominal Fat: a Multilevel Analysis of Individuals Nested within Supermarkets. Submitted to the PLoS ONE (28 June 2011)

Articles à soumettre

Leal C, Bean K, Thomas F, Chaix B. Do neighborhood characteristics influence primary healthcare and anti-lipid drugs consumption for residents with dyslipidemia? Findings from RECORD Study. *Analyses statistiques en cours*.

Communications

Leal C, Bean K, Chaix B. Neighborhood sociodemographic, physical, service-related, and social-interactive characteristics and BMI or waist circumference in the RECORD Study: evaluation of the separability of associations with a neighborhood characteristic-matching technique. 19th IEA World Congress of Epidemiology, Edinburgh, Scotland, 7-11 August, 2011. Abstract in: J Epidemiol Community Health. 2011; 223-S.

Leal C, Bean K, Chaix, B. Neighborhood sociodemographic, physical, service-related, and social-interactive characteristics and BMI or waist circumference in the RECORD Study: evaluation of the separability of associations with a neighborhood characteristic-

matching technique. 3rd North American Congress of Epidemiology, Montreal, Canada, June 21-24 2011. Abstract in: Am J Epidemiol 2011; 188-S.

Leal C, Chaix, B. Are obesity outcomes associated with neighborhood socioeconomic characteristics? Findings from the French RECORD Cohort Study. XI International Conference on Obesity, Stockholm, Sweden, 11-15 July, 2010. Abstract in: Obes Rev. 2010; Suppl. 1:330(102).

Leal C, Chaix B. Ego-centered neighborhood socioeconomic characteristics and obesity: revisiting the analyses in the RECORD Cohort Study using propensity score matching techniques. 43th Annual meeting of the Society for Epidemiologic Research, Seattle, USA, June 23-26 2010. Abstract in: Am J Epidemiol 2010;171:203-S.

LISTE DES ABREVIATIONS

CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
EHESP	Ecole de Hautes Etudes de Santé Publique
IAU	Institut d'Aménagement et Urbanisme
IMC	Indice de masse corporelle
INSEE	Institut National de Statistique et des Etudes Economiques
IPC	Centre d'Investigations Préventives et Cliniques
IRIS	Découpage géographique infra-communal ou en quartiers du territoire
Obépi	Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité
PNNS	Plan National Nutrition Santé
SIG	Système d'Information Géographique
TRIRIS	Découpage géographique infra-communal qui correspond à trois IRIS
TT	Tour de taille

LA STRUCTURE DE CE MANUSCRIT

Avant de débiter la lecture de ce manuscrit de thèse, il est important de savoir qu'il a été structuré sous la forme d'une « thèse-article ».

Ce manuscrit commence par une description des objectifs de cette thèse et se poursuit par une introduction visant à cadrer notre thématique de recherche et à présenter un article de revue de littérature publié dans le journal *Obesity Reviews*.

Le deuxième chapitre décrit les principaux éléments méthodologiques de nos analyses, les bases de données utilisées et les méthodes statistiques mises en œuvre.

Les troisième et quatrième chapitres sont consacrés aux analyses empiriques menées dans le cadre de cette thèse. Ces chapitres commencent chacun par une présentation synthétique de l'article, suivie du texte intégral. Celui présenté dans le troisième chapitre a été publié dans la revue *Epidemiology*. Quant à celui qui fait l'objet du quatrième chapitre, nous sommes actuellement en train de le réviser suite à une première réponse de l'*American Journal of Epidemiology*.

Le cinquième chapitre est consacré à une discussion générale des résultats obtenus dans le cadre de ce travail et tient compte des données de la littérature.

Nous terminons ce manuscrit par les conclusions et perspectives qui font suite à ce travail de thèse réalisé en trois ans.

OBJECTIFS DE LA THESE

Face aux disparités géographiques de prévalence d'obésité rapportées dans la littérature, et à l'absence d'études réalisées en France, cette thèse a eu pour objectif central d'étudier les relations entre les caractéristiques de l'environnement résidentiel et l'accumulation de graisses corporelles des résidents de ces environnements au sein de la région Ile-de-France.

Plus spécifiquement :

- 1) Nous avons étudié quatre dimensions environnementales distinctes : sociodémographiques, physiques, sociales et liées à la disponibilité des services ; et deux mesures d'obésité, l'indice de masse corporelle (IMC) et le tour de taille (TT).
- 2) Nous avons approfondi l'étude de ces relations en explorant les problèmes méthodologiques liés aux extrapolations excessives des modèles de régression résultant des fortes corrélations existant entre les variables d'exposition concernées. Nous avons procédé en deux étapes :
 - a. Premièrement nous nous sommes intéressés à l'étude des relations avec le niveau socioéconomique (individuel et environnemental) tout en vérifiant qu'il était possible d'estimer ces relations sans que les modèles de régression ne s'appuient sur des extrapolations excessives.
 - b. Deuxièmement, nous nous sommes focalisés sur la possibilité de démêler les effets des variables environnementales associées à des dimensions distinctes, au-delà de la dimension socioéconomique.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1. L'OBESITE

1.1.1. De l'histoire au problème de santé publique actuel

L'accumulation excessive de graisse corporelle a pendant longtemps été synonyme de bonheur, de richesse et même de pouvoir. La limite entre la bonne et la mauvaise quantité de graisses accumulées était déterminée par l'incapacité de réaliser des activités du quotidien de l'époque, comme monter à cheval (58).

Au cours des années, la compréhension sociétale de ce phénomène d'accumulation de graisses a considérablement changé. Jusqu'à une époque récente, le phénomène était considéré comme un désagrément résultant des grands changements de vie de notre société comme le mariage, le début de la vie professionnelle ou encore les grossesses pour les femmes. Il était ainsi question d'un phénomène lié au vieillissement dont la présence était « acceptable ».

C'est seulement depuis une trentaine d'années que l'accumulation excessive de graisses corporelles a été reconnue comme maladie, tout d'abord aux Etats-Unis (47). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a mis, quant à elle, presque dix ans de plus à reconnaître le phénomène comme une maladie. Ce n'est qu'en 1997, compte tenu du développement croissant du phénomène et de ses conséquences, que l'OMS a décidé de le classer en tant que maladie, l'obésité, et que cette organisation a défini ce problème comme «une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui peut nuire à la santé » (4).

Dans la plupart des pays développés ou en voie de développement, l'obésité a pris une ampleur considérable, à tel point que l'OMS parle aujourd'hui d'épidémie mondiale. Il s'agirait par ailleurs de la première épidémie de l'histoire de l'humanité causée par une maladie non infectieuse (60). Selon des estimations récentes faites par cette même organisation en 2011, l'excès de poids est le cinquième facteur de risque de décès au niveau mondial. Le nombre de décès à l'âge adulte associé serait ainsi de l'ordre de 2,8 millions chaque année. En outre, l'obésité est responsable de 44% des décès liés au diabète, de 23% de ceux liés aux cardiopathies ischémiques et d'un pourcentage considérable (7-41%) de ceux liés à certains cancers (45).

1.1.2. La situation du problème dans le monde et en France

Même si l'obésité a été pendant longtemps une maladie considérée comme nord-américaine, elle touche aujourd'hui aussi la plupart des pays développés et en voie de développement de façon épidémique (9). Aux Etats-Unis, par exemple, l'obésité touche un tiers des américains et est la deuxième cause de décès dans le pays, derrière le tabac (9, 39, 48). En Europe, la prévalence moyenne a été estimée à 14%. Parmi les pays les plus touchés se trouvent Chypre, l'Autriche, le Royaume-Uni et Malte où la prévalence de l'obésité est d'environ 20% (54). Les taux les plus bas d'obésité sur le continent européen, d'environ 9%, reviennent à l'Italie et à la Lettonie. De façon générale, la fourchette d'augmentation de la prévalence du phénomène en Europe approche 1% par an. A titre d'exemple, cette prévalence augmente de 0,2% par an aux Pays-Bas, de 0,5% en France et de 0,9% au Royaume-Uni (44).

En France, les premières enquêtes nationales datent des années 1980 et ont été réalisées par l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques). Celles-ci mettaient en évidence, à l'époque, une prévalence de 6% de l'obésité dans le pays. Au cours des années 1990, ce sont surtout les enquêtes Obépi (Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité) qui ont pris le relais en tant qu'étude nationale à grande échelle. En 2000, l'étude Obépi montrait que la prévalence de l'obésité était d'au moins 10% (5). Depuis, les études Obépi successives ont montré

que la prévalence de la maladie a augmenté régulièrement. D'après les résultats de cette étude réalisée tous les 3 ans depuis 1997, en 12 ans, le poids et le tour de taille moyens des Français ont augmenté de plus de 3 kg et de près de 5 cm, respectivement. Aussi la prévalence de l'obésité a augmenté de près de 6% par an depuis 12 ans, ajoutant près de 3 millions d'individus au nombre total des personnes obèses, dont plus de 1% présentent une obésité massive (44). Au total, en France métropolitaine, la prévalence de l'obésité chez les adultes a augmenté de plus de 70% entre 1997 et 2009 (44). En 2009, 32% des Français adultes de 18 ans et plus étaient en surpoids dont 15% étaient obèses¹ (22). Chez les enfants, en revanche, après une augmentation de la prévalence de l'obésité jusqu'en 2007 (51), des études plus récentes ont montré que la prévalence du phénomène s'est stabilisée ces dernières années (52).

1.1.3. Définition et indicateurs de mesure

L'obésité est une accumulation excessive de masse grasse, quelle qu'en soit sa localisation, caractérisée par une inflation des réserves énergétiques stockées sous forme de triglycérides dans les adipocytes (9). Cet excès de masse grasse résulte initialement d'un déséquilibre du bilan énergétique et a des conséquences somatiques, physiologiques, sociales et sur la qualité de vie des personnes concernées (4, 6, 45).

Afin de mesurer l'excès de masse grasse accumulée dans un corps humain, et réaliser le diagnostic d'excès, il existe des méthodes de mesure directes et indirectes. Comme pour tout autre diagnostic médical, il s'agit de comparer les mesures individuelles aux valeurs de référence, établies comme normales vis-à-vis des taux de mortalité obtenus dans des études épidémiologiques antérieures.

Etant donné que la masse grasse peut se trouver à diverses localisations dans le corps humain, la mesure directe et précise de cette masse n'est réalisable qu'à l'aide de

¹ Mesurés à partir de l'indice de masse corporelle.

méthodes sophistiquées², qui sont à l'heure actuelle encore inaccessibles à la plupart du corps médical de manière routinière et aux grandes études épidémiologiques (7). Dès lors, la masse grasse est souvent mesurée de façon indirecte par le biais de quatre données qui peuvent être obtenues facilement auprès des patients : le poids, la taille, le tour de taille³ et le tour de hanches.

A partir du poids et de la taille d'un individu, il est possible de calculer son indice de masse corporelle (IMC) qui correspond au poids (en kg) divisé par la taille (en mètres) au carré. Cet indice calculé facilement fournit une évaluation globale de la corpulence et de l'importance de la masse grasse présente dans le corps. C'est pour cette raison qu'il est devenu la référence internationale dans la pratique clinique et épidémiologique, même si de nombreuses critiques existent dans la littérature à son égard (4, 8). C'est suite à diverses études épidémiologiques sur la mortalité que l'OMS a défini des seuils d'IMC pour lesquels des augmentations de risque de mortalité peuvent être observées. A partir de ces seuils d'IMC, l'OMS a défini les états pondéraux anormaux, autrement dit ceux associés à des risques pour la santé. Ces états dits anormaux, pour ce qui est de l'excès de poids, comprennent les états de surpoids (IMC compris entre 25 et 30), d'obésité (IMC supérieur à 30) et d'obésité morbide (IMC supérieur à 40) (4).

A partir du tour de taille et du tour de hanches il est possible de mesurer l'accumulation de masses grasses de façon plus spécifique au niveau abdominal. D'après la littérature, l'accumulation de graisses au niveau abdominal est associée à une prévalence accrue de maladies métaboliques et vasculaires, indépendamment de la quantité totale de tissu adipeux présente dans le corps (4). Le tour de taille (TT) et le rapport taille-hanche⁴ (RTH) sont les mesures les plus utilisées pour évaluer l'accumulation de masse grasse. Toutefois, la littérature reste partagée quant à laquelle de ces deux mesures serait la plus appropriée dans les études épidémiologiques. Même s'il a été montré que le RTH

² Les méthodes les plus connues sont la mesure de la densité corporelle, l'évaluation par absorptiométrie, tomodynamométrie ou encore la résonance magnétique.

³ Mesuré en expiration à mi-distance entre la dernière côte et la crête iliaque.

⁴ Le rapport taille-hanche est calculé en divisant le tour de taille par le tour de hanches en centimètres.

est un meilleur prédicteur du risque cardiovasculaire (car il comprend le tour de hanches qui est inversement associé à d'autres facteurs de risque comme la dyslipidémie, le diabète et l'hypertension), le TT est, quant à lui, plus fiable pour détecter l'importance des dépôts adipeux abdominaux car comme il s'agit d'une mesure unique, il ne compte qu'une source d'erreur de mesure (4, 21, 36).

1.1.4. Les principaux facteurs de risque

Les facteurs associés au développement de l'obésité sont nombreux. Aujourd'hui, après des années de recherches sur le sujet, une grande quantité de facteurs ont été identifiés comme étant associés à l'obésité, notamment au travers des travaux réalisés dans le cadre du « Obesity Systems Map » (56). Malgré l'existence de ces travaux, la totalité des facteurs de risque susceptibles d'entraîner une prise de poids excessive n'a pas encore été identifiée. Sans prétention quant à l'exhaustivité, les déterminants de l'obésité les plus connus sont d'ordres génétique, comportemental et environnemental (6, 8, 11, 24).

Un certain nombre de constats scientifiques montrent que les facteurs génétiques ont un poids important dans la survenue de l'obésité. Parmi les éléments plaidant en faveur d'une dimension génétique de l'obésité, on trouve la concentration de cas d'obésité dans une même famille, le taux élevé de concordance de l'IMC chez les jumeaux monozygotes et la découverte de gènes associés à l'obésité. Le risque d'obésité est environ deux à huit fois plus élevé chez un individu présentant des antécédents familiaux comparativement à un individu sans histoire familiale d'obésité. L'héritabilité de l'obésité varie en fonction du phénotype étudié, et elle tend à être plus élevée pour les phénotypes reliés à la distribution du tissu adipeux (40 à 55 %) que pour les phénotypes qui traduisent l'excès de masse grasse (5 à 40 %). Malgré tout, les facteurs génétiques ne sont pas les principaux responsables de l'évolution récente de la prévalence de l'obésité. En effet, le patrimoine génétique des populations est demeuré relativement stable au cours des siècles. Dans la plupart des cas, il s'agit plutôt de l'interaction entre des gènes prédisposant à l'obésité et un environnement délétère qui expliquerait son développement (11).

En termes de facteurs comportementaux, les deux facteurs de risque les plus connus de l'obésité sont: la réduction des dépenses énergétiques par l'activité physique⁵ et l'augmentation du bilan calorique ingéré par la consommation d'aliments gras et sucrés. L'accroissement de ces deux facteurs de risque est une conséquence des divers changements sociétaux qui se sont déroulés ces dernières décennies, comme l'utilisation croissante des moyens de transport au détriment de la marche, ou la pratique de loisirs sédentaires (par exemple, les jeux vidéo ou regarder la télévision) au détriment de la pratique d'un sport (45). Parallèlement, nous constatons d'autres changements dans les sociétés qui motiveraient la population à adopter une alimentation de plus en plus grasse et sucrée, comme l'augmentation croissante du nombre de services de restauration rapide, l'augmentation de la taille des portions individuelles et la présence de campagnes publicitaires incitant à la consommation de produits gras et sucrés (57, 59). Un autre facteur qui pourrait aussi être considéré parmi les comportements à risque d'obésité est la réduction du temps de sommeil, selon les résultats d'études récentes (27).

Les facteurs environnementaux qui favoriseraient une accumulation excessive de masse grasse dans le corps sont aux yeux de la littérature médicale catégorisés en fonction de leur milieu d'origine à savoir les environnements familial, social, économique et professionnel (8). De façon plus large, ces facteurs peuvent aussi être classés en facteurs macro, quand ils peuvent influencer la population en générale (comme par exemple les réglementations sur les taxes alimentaires) ou facteurs micro, quand ils peuvent jouer un rôle sur les individus par la proximité (comme par exemple la présence de pistes cyclables à proximité des lieux de vie) (24). Ces facteurs ont d'abord été étudiés au niveau populationnel à partir d'analyses écologiques. Ces dernières ont montré qu'il existe de fortes corrélations entre les niveaux d'obésité et la présence de certaines caractéristiques environnementales. Aujourd'hui, l'étude de ces facteurs environnementaux est plutôt réalisée au niveau individuel lorsqu'il existe des données disponibles.

⁵ Tout mouvement corporel produit par contraction des muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de la dépense d'énergie de repos.

1.2. LES INEGALITES GEOGRAPHIQUES D'OBESITE

Même si des études sur les inégalités géographiques de santé sont conduites depuis de nombreuses années, les relations entre l'environnement de résidence et l'état de santé des individus n'ont commencé à être étudiées que très récemment. Depuis, ces études ont abouti à un constat important : il existe des inégalités géographiques de santé considérables entre les zones géographiques, par exemple entre pays, régions ou même à une échelle plus fine, entre quartiers (15, 23).

Bien qu'elle continue d'augmenter au niveau national, la prévalence de l'obésité évolue de façon hétérogène en fonction des territoires. Les zones subissant les plus fortes évolutions de la prévalence de l'obésité entre 1997 et 2009 sont la région parisienne avec une augmentation de plus 89%, l'Est avec une augmentation de 83% et l'Ouest avec une augmentation de 82%. En 2009, l'étude Obépi a aussi montré que des vastes disparités interrégionales de prévalence de l'obésité demeurent : du Sud au Nord (de 12% dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur à 21% dans le Nord-Pas-de-Calais) et d'Est en Ouest (de 18% en Alsace à 12% en Bretagne) (44).

Depuis quelques années, afin de mieux comprendre ces disparités observées, la piste environnementale a commencé à être étudiée : l'influence environnementale sur l'excès de poids pourrait expliquer au moins partiellement les différences d'obésité observées entre zones géographiques. De ce fait, les études sur les relations entre l'environnement résidentiel et l'obésité ont de plus en plus cherché à caractériser les environnements les plus propices à la prise de poids. Dès lors, le terme d'« environnement obésogène » a émergé dans la littérature (31, 55). Afin de caractériser ces environnements dit obésogènes, les chercheurs ont investigué différents aspects environnementaux, le but étant d'identifier précisément les facteurs impliqués dans les associations avec l'excès de poids. En effet, l'identification de ces facteurs pourrait aider dans la compréhension des variations géographiques observées de prévalence de l'obésité. Les socio-

épidémiologistes et les géographes de la santé supposent que ces facteurs environnementaux impliquent une distribution inégale des facteurs de risque comportementaux (médiateurs dans la chaîne de causalité) liés notamment à l'équilibre énergétique. Des progrès dans la compréhension des mécanismes entre l'environnement et l'obésité pourraient apporter des informations capitales aux stratégies de prévention à mettre en œuvre contre l'obésité.

1.3. L'ENVIRONNEMENT

L'environnement est le milieu physique, construit, naturel ou humain dans lequel un individu ou un groupe fonctionne ; incluant l'air, l'eau, le sol, le sous-sol, la faune, la flore, les autres organismes vivants, les êtres humains et leurs interrelations. De façon plus large et en conséquence de l'étymologie du mot environnement, celui-ci peut évoquer tout ce qui est « autour de nous » à un moment donné (25).

Etudier l'environnement requiert d'emblée la connaissance des types d'environnements existants. Ceci est particulièrement important afin de définir convenablement le spectre du travail engagé et d'assurer la portée des résultats. L'environnement peut être envisagé sous différents angles, par exemple comme le milieu où on étudie des organismes vivants ou bien comme une exposition pour ceux qui sont à son contact.

Quand on s'intéresse à l'environnement comme à une exposition pour les individus qui y vivent ou qui le fréquentent, il s'agit de mesurer les facteurs environnementaux qui pourraient influencer ou modifier ces individus. Cette influence environnementale opère ainsi soit par sa proximité aux individus et ses interactions avec eux, soit par les opportunités qu'elle procure aux individus d'atteindre leur potentiel de santé maximum. C'est pour cette raison qu'une des classifications les plus utilisées en épidémiologie est basée sur les lieux fréquentés par les individus dans leur vie quotidienne. Ceux-ci sont très mobiles et peuvent ainsi être en contact avec des environnements très différents

dans une même journée. Selon cette classification, les trois principaux types d'environnements sont : les environnements de travail, de loisir et de résidence (14).

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes focalisés sur les environnements résidentiels de vie. Ce choix a été strictement déterminé par les données disponibles⁶ dans le cadre de ce travail.

L'environnement résidentiel de vie ou le quartier de résidence est une information qui permet de situer une personne dans son environnement physique et social. Il s'agit d'un lieu important de développement personnel où la personne peut mener diverses activités quotidiennes.

Les caractéristiques environnementales peuvent être classées en différentes dimensions. Quatre principales dimensions peuvent être identifiées : socioéconomique, physique, liée à la disponibilité de services et liée aux interactions sociales (34). Diverses variables environnementales peuvent être identifiées dans chacune de ces dimensions, comme par exemple : le niveau d'instruction moyen du quartier dans la dimension socioéconomique ; la quantité d'espaces verts dans la dimension physique ; la composition de l'environnement alimentaire du quartier dans la dimension liée aux services ; et le sentiment de cohésion sociale dans la dimension liée aux interactions sociales. Les facteurs environnementaux les plus souvent étudiés jusqu'à présent concernent le niveau socioéconomique des zones géographiques, qui généralement est associé aux prévalences d'obésité observées.

⁶ Les données disponibles et utilisées dans le cadre de cette thèse sont détaillées dans le chapitre suivant.

1.4. LES RELATIONS ENTRE ENVIRONNEMENT ET OBESITE

1.4.1. Les hypothèses : comment l'environnement pourrait-il influencer la prise de poids ?

Un certain nombre d'hypothèses pour expliquer la façon dont l'environnement influencerait la prise de poids ont émergé ces dernières années, dans les nombreuses études réalisées en géographie de la santé et en épidémiologie. Certaines hypothèses concernent la proximité des expositions environnementales qui pourraient influencer les deux principaux facteurs liés à l'équilibre du bilan énergétique individuel : l'activité physique et l'alimentation (3).

Les mécanismes qui expliqueraient ces relations passeraient par le biais des voies psychologiques et cognitives. Les différentes caractéristiques sociodémographiques, physiques, sociales et liées à la disponibilité de services dans les environnements résidentiels seraient responsables, au moins partiellement, de certains comportements quotidiens à l'égard de l'activité physique et de la consommation alimentaire (20).

Des relations entre les caractéristiques sociodémographiques des environnements résidentiels et l'obésité ont été observées dans un nombre considérable d'études épidémiologiques (3). Il est avéré depuis de nombreuses années que le niveau socioéconomique de l'environnement de résidence est associé à l'état de santé de ses résidents (15, 28). Dans le cas de l'obésité, un environnement socioéconomiquement défavorable pourrait influencer la prise de poids selon quatre mécanismes différents. Les populations socioéconomiquement défavorisées pourraient être plus exposées à des nuisances environnementales qui les démotiveraient à pratiquer une activité physique régulière ; elles pourraient être plus exposées à des services qui motiveraient une alimentation plus grasse et sucrée ; elles pourraient être plus soumises à des situations de stress chronique général qui influenceraient l'adoption d'un mode de vie moins sain ; et elles pourraient être plus sensibles à la prise de poids résultant de ces expositions car elles ont en général moins de connaissances concernant les facteurs de risque de

l'obésité, et de faibles revenus qui contraignent à l'achat de produits riches en calories mais moins coûteux et empêchent de pratiquer certaines activités sportives (23, 26). Au travers de ces quatre mécanismes agissant de manière indépendante ou synergique, les résidents des quartiers défavorisés pourraient être plus à risque de prendre du poids du fait de l'exposition à des risques environnementaux (28).

En ce qui concerne les caractéristiques physiques et de disponibilité des services dans l'environnement résidentiel, plusieurs hypothèses peuvent être envisagées. La surcharge pondérale varie par exemple en fonction des types d'agglomération de résidence. Il a été montré que dans les agglomérations les plus petites, la prévalence de l'obésité est la plus forte (32, 44). Dans les agglomérations les plus petites, le réseau de transports en commun est probablement moins bien développé que dans les grandes agglomérations, et de ce fait les résidents peuvent avoir plus tendance à recourir à une voiture, au détriment des transports en commun qui exigent généralement un certain déplacement à pied. Une autre hypothèse associée serait que vivre dans un environnement ayant des équipements sportifs à proximité motiverait les personnes à pratiquer une activité physique plus régulière.

L'influence environnementale pourrait aussi être liée aux interactions sociales ayant lieu au sein des quartiers. Les diverses perceptions que l'on peut avoir à l'égard des relations sociales dans son quartier de résidence peuvent influencer sur les gestes quotidiens des résidents même à leur insu. Les sentiments d'insécurité et de cohésion sociale, par exemple, pourraient avoir des influences opposées sur le bilan énergétique journalier d'un individu. Un sentiment d'insécurité pousserait les habitants à réduire leur temps de mobilité à l'extérieur de leur logement, tandis qu'un sentiment de cohésion sociale dans le même lieu stimulerait la réalisation d'activités dans cet environnement.

1.4.2. Les problèmes méthodologiques associés

Séparer les effets individuels des effets environnementaux

La difficulté concernant l'étude de la part d'effet des facteurs socioéconomiques individuels et environnementaux sur les variables de santé a récemment émergé dans la littérature comme un problème méthodologique non négligeable lié à la forte corrélation existant entre ces facteurs. Ces études se sont ainsi interrogées sur la réelle possibilité d'estimer les effets socioéconomiques environnementaux après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel (41-42). Certains auteurs défendaient l'impossibilité de séparer les effets socioéconomiques individuels et environnementaux dans leur contexte local, en l'occurrence aux États-Unis, un territoire connu pour ses forts niveaux de ségrégation sociale, qui est directement lié à la force de la corrélation entre les variables socioéconomiques individuelles et environnementales.

Le problème de la séparation des effets se pose lors des analyses statistiques. La modélisation statistique consiste à expliquer une variable en fonction d'une ou de plusieurs autres. Pour connaître l'effet d'une première variable (une exposition, par exemple le fait d'habiter dans un quartier défavorisé) sur une seconde (une maladie), ajusté sur une troisième (une covariable binaire égale à 0 ou 1, par exemple un niveau socioéconomique faible ou élevé), il est nécessaire d'avoir des données pour chacune des possibilités : exposé-malade covariable-0, exposé-malade covariable-1, exposé-non malade covariable-0, exposé-non malade covariable-1, non exposé-malade covariable-0, non exposé-malade covariable-1, non-exposé non malade covariable-0, non-exposé non malade covariable-1. Si ce n'est pas le cas, les résultats obtenus ne sont pas fondés sur des données empiriques, et les modèles de régression s'appuient sur des extrapolations excessives. Les résultats découlant de telles extrapolations n'apporteraient en outre pas d'information utile aux stratégies de santé publique. Dans le cadre de notre sujet de recherche, la non-échangeabilité des individus entre quartiers présentant des caractéristiques contrastées constituerait une difficulté fondamentale dans l'étude des effets environnementaux. Par exemple, deux résidents de quartiers très différents

socioéconomiquement parlant ont de fortes chances de présenter des caractéristiques socioéconomiques individuelles très distinctes qui s'apparentent à celles de leur quartier de résidence respectif. Si les distributions des facteurs socioéconomiques individuels dans les quartiers socialement favorisés et dans les quartiers défavorisés ne se chevauchent pas suffisamment, l'ajustement de l'« effet » du niveau socioéconomique du quartier sur l'« effet » des caractéristiques socioéconomiques des individus sera basé sur des extrapolations excessives, et les inférences réalisées ne seront pas suffisamment basées sur les données. Or, malgré l'importance de ce problème méthodologique qui n'a reçu pour l'instant qu'une attention limitée aux États-Unis, aucune étude jusqu'à présent ne s'est attachée à quantifier ce phénomène en Europe ou dans d'autres territoires ayant des niveaux de ségrégation sociale similaires à ceux de la France.

Séparer les effets environnementaux entre eux

Une seconde difficulté est que les autres facteurs environnementaux liés aux caractéristiques physiques, sociales et de densité de services sont souvent aussi fortement corrélés entre eux, ce qui rend difficile l'estimation de leurs effets respectifs. Par exemple, les quartiers bien desservis par les transports en commun, caractéristique présumée encourageante pour la pratique de la marche utilitaire, sont également ceux où la densité de restaurants fast-food est élevée. Or, en termes de stratégies d'intervention, ces deux facteurs renvoient à des mécanismes distincts d'influence de l'environnement sur le statut pondéral. C'est pour cette raison que la question de la possibilité de séparer les effets des différents facteurs environnementaux se pose. La séparation de ces effets constitue un problème méthodologique important, car les caractéristiques généralement mises en cause pour expliquer les inégalités d'obésité sont spatialement distribuées de façon semblable.

Malgré les nombreuses études sur les inégalités géographiques d'obésité, les résultats obtenus jusqu'à présent ne semblent toujours pas peser suffisamment dans le débat des interventions de santé publique. C'est dans ce contexte que ce travail de thèse s'est intéressé à étudier les relations existant entre les environnements géographiques de vie

et l'excès de poids afin d'apporter des contributions méthodologiques à ce champ de recherche.

1.4.3 Synthèse des connaissances actuelles

Le recensement de la littérature existante a constitué la première étape du travail. La prochaine partie de ce chapitre se consacrera à présenter une synthèse des études qui ont été réalisées à ce jour et qui ont été recensées dans un article de revue de littérature publié en 2011 dans le journal *Obesity Reviews*. Cet article porte sur les relations entre l'environnement géographique de vie et les principaux facteurs de risque métaboliques des maladies cardiovasculaires (l'obésité, l'hypertension, le diabète, les dyslipidémies et le syndrome métabolique). Néanmoins, dans le cadre de cette synthèse, nous nous sommes restreints aux résultats obtenus pour l'obésité, qui sont en lien plus direct avec les travaux de recherche empirique conduits par la suite dans cette thèse.

1.5. PRESENTATION DE L'ARTICLE DE REVUE DE LITERATURE

L'objectif général de ce travail de revue a été de synthétiser les études publiées au cours des vingt dernières années sur les relations entre les environnements géographiques de vie et les facteurs de risque métaboliques.

De façon plus spécifique, nous nous sommes intéressés aux nombreuses caractéristiques méthodologiques de ces études, à savoir : les types d'environnements et les caractéristiques étudiés, les types de mesures environnementales et sanitaires utilisés, les schémas d'étude et les analyses statistiques réalisées, les variables médiatrices et modificatrices des associations identifiées, et finalement les problèmes méthodologiques rencontrés dans ces études.

Cette revue de littérature, de type systématique, s'est intéressée à la période allant de janvier 1985 à novembre 2009 et a concerné les recherches conduites sur les relations entre environnement et facteurs de risque métaboliques (y compris l'obésité). Les recherches bibliographiques ont été réalisées en deux étapes : (1) la recherche simple et la combinaison de mots-clés (« *Mesh terms*⁷ ») à partir du portail *PubMed*; (2) la recherche d'autres études dans les listes de références et dans les listes de citations (*Web of Knowledge*) des articles sélectionnés lors de la première étape. Les méthodes utilisées pour mener à bien notre revue sont détaillées non seulement dans l'article mais aussi dans son appendice 1.

Au total, nous avons trouvé 131 articles sur les relations entre l'environnement géographique de vie et les facteurs de risque métaboliques, mais seulement 56 concernaient spécifiquement les relations entre environnement et obésité ou un de ses indicateurs. La grande majorité des études ont été publiées après 2006 et se sont appuyées sur un schéma d'étude transversal.

⁷ Les *Mesh Terms* sont les mots-clés préenregistrés dans thésaurus du portail *Pubmed* et qui permettent de réaliser une recherche plus complète car elle s'appuie également sur d'autres mots-clés dérivés et/ou associés.

Les études se sont quasi-exclusivement intéressées aux environnements de résidence, au détriment des environnements de travail et de loisirs. Les caractéristiques environnementales les plus étudiées dans le cadre de ces études étaient liées aux aspects sociodémographiques des quartiers, et ensuite aux aspects physiques et de disponibilité de services. Les caractéristiques liées aux interactions sociales dans les environnements ont été presque totalement laissées de côté.

Quant aux méthodes de mesure de ces environnements, deux méthodes ont été souvent utilisées : d'abord les mesures dans des zones administratives⁸, utilisant des échelles de territoire fixes et ne reflétant pas le lieu de résidence exact des individus, et ensuite les mesures appelées « individu-centrées », utilisant des découpages géographiques variables en fonction des lieux de résidence exacts. Cette dernière méthode est aujourd'hui reconnue comme la plus performante, permettant de mesurer les expositions environnementales dans des zones (circulaires ou définies selon le réseau routier) ayant le lieu de résidence exact des individus comme point central.

L'indicateur anthropométrique utilisé dans ces études a été majoritairement l'indice de masse corporelle, analysé sous forme de variable continue ou binaire, respectant les recommandations de l'OMS pour la définition du surpoids et de l'obésité. Le recueil des données anthropométriques a été, quant à lui, réalisé soit par le biais de déclarations individuelles, soit par des mesures objectives. Seulement cinq études ont utilisé d'autres mesures d'adiposité comme le tour de taille ou des mesures de plis cutanés. Dans les deux seules études ayant des schémas longitudinaux, les variations pondérales au cours du temps ont été étudiées soit à partir de la différence d'IMC entre deux points temporels, soit avec des mesures répétées d'IMC prises en compte par les méthodes de régression.

En termes d'associations, un certain nombre de caractéristiques environnementales ont été mises en cause comme associées soit à une augmentation des risques d'obésité/surpoids soit à une augmentation d'IMC/TT. Les principales caractéristiques

⁸ Il s'agit de données qui proviennent des recensements et/ou des diverses administrations publiques des divers pays où les études ont été réalisées.

environnementales concernées étaient notamment un faible niveau socioéconomique, un faible niveau d'urbanisation, un faible nombre d'intersections de rues, une faible disponibilité de services, un faible niveau d'accessibilité aux supermarchés, une forte densité de dépanneurs (« convenience stores ») et un faible niveau de cohésion sociale.

Cependant, bien que la littérature sur le sujet soit importante, des lacunes méthodologiques considérables demeurent. Au niveau des mesures environnementales, les études se sont quasi-exclusivement intéressées aux quartiers de résidence ; les méthodes de mesure utilisées ont été majoritairement **considérées** des « zonages administratifs » ; et des caractéristiques environnementales importantes n'ont pas encore été prises en compte, comme l'offre de services médicaux. La mesure des indicateurs anthropométriques, quant à elle, a été trop souvent réalisée sur la base de déclarations individuelles. En ce qui concerne les analyses, les médiateurs et/ou modificateurs d'effet n'ont pas toujours été pris en compte ; et des schémas longitudinaux ont été rarement mobilisés.

Cette revue de littérature nous a permis de dresser un bilan des études réalisées sur les relations entre les environnements géographiques de vie et l'obésité jusqu'en 2009, tout en portant une attention particulière aux problèmes méthodologiques associés. Ce travail nous a ainsi permis de confirmer qu'un certain nombre de facteurs environnementaux sont associés à la corpulence humaine et qu'il est important à l'heure actuelle d'entreprendre des études avec des méthodes plus abouties dont les résultats pourraient être profitables aux décideurs de santé publique.

La suite de ce chapitre présente l'intégralité de l'article publié par *Obesity Reviews*.

Other Review

The influence of geographic life environments on cardiometabolic risk factors: a systematic review, a methodological assessment and a research agenda

C. Leal^{1,2,3} and B. Chaix^{1,2}

¹Inserm, U707, Research Unit in Epidemiology, Information Systems, and Modeling, Paris, France; ²Université Pierre et Marie Curie-Paris6, UMR-S 707, Paris, France; ³EHESP School of Public Health, Rennes, France

Received 23 September 2009; revised 16 December 2009; accepted 7 January 2010

Address for correspondence: C Leal, UMR-S 707 Inserm – UPMC-Paris6, Faculté de Médecine Saint-Antoine, 27 rue Chaligny, 75012 Paris, France. E-mail: leal@u707.jussieu.fr

Summary

Recent environmental changes play a role in the dramatic increase in the prevalence of cardiometabolic risk factors (CMRFs) such as obesity, hypertension, type 2 diabetes, dyslipidemias and the metabolic syndrome in industrialized countries. Therefore, identifying environmental characteristics that are associated with risk factors is critical to develop more effective public health interventions. We conducted a systematic review of the literature investigating relationships between characteristics of geographic life environments and CMRFs (131 articles). Most studies were published after 2006, relied on cross-sectional designs, and examined whether sociodemographic and physical environmental characteristics, and more recently service environment characteristics, were associated with obesity or, to a lesser extent, hypertension. Only 14 longitudinal studies were retrieved; diabetes, dyslipidemias and the metabolic syndrome were rarely analysed; and aspects of social interactions in the neighbourhood were critically underinvestigated. Environmental characteristics that were consistently associated with either obesity or hypertension include low area socioeconomic position, low urbanization degree; low street intersection, service availability and residential density; high noise pollution; low accessibility to supermarkets and high density of convenience stores; and low social cohesion. Intermediate mechanisms between environmental characteristics and CMRFs have received little attention. We propose a research agenda based on the assessment of underinvestigated areas of research and methodological limitations of current literature.

Keywords: Environment, metabolic diseases, obesity, residence characteristics.

obesity reviews (2010)

Introduction

Obesity prevalence has increased at a dramatic rate over the last three decades in industrialized countries, contributing to the alarming rise in obesity-related disorders such as hypertension, type 2 diabetes and dyslipidemia (1).

This sudden increase in obesity is more likely to be related to environmental changes than to biological changes (2). Broadly defined environmental factors such as changes in agriculture, food processing and marketing,

transportation habits, physical demands of work, and levels of sedentary activities create the context for a population-level increase in obesity rates, and through their effects on obesity, in blood pressure, cholesterol and diabetes incidence.

The limited success of education programs targeting attitudes related to physical activity or dietary behaviour may be due to the failure to consider environmental barriers to and environmental opportunities for healthy living. Accordingly, there is a growing recognition that

environmental and policy interventions are promising strategies for creating population-wide changes in rates of obesity and related metabolic disorders (3).

We undertook a systematic review of the literature on environmental effects on cardiometabolic risk factors (CMRFs), to promote the development of innovative interventions to change modifiable environmental exposures or mitigate the adverse effects of non-modifiable environmental exposures. Our specific objectives were:

1. To catalogue the environmental correlates of different CMRFs (obesity, hypertension, type 2 diabetes, dyslipidemias and the metabolic syndrome) identified in the literature;
2. To report circumstances that modify the observed associations between contextual variables and CMRFs, allowing the identification of populations at a particular risk from environmental exposures;
3. To identify mediating pathways investigated between environmental exposures and CMRFs, which is useful to develop more efficient interventions targeting the mechanisms;
4. To identify underinvestigated areas of research, evaluate the methodological strengths and shortcomings of previous literature, and propose a research agenda.

Methods

We performed a qualitative systematic review of the literature on geographic life environments and CMRFs. We rejected quantitative systematic review design because of the small number of studies dealing with each particular environmental factor and because of the considerable variability in their design.

Search strategy

Our search only included articles dealing with human samples, conducted in developed countries according to the World Bank list of economies, and published in English between January 1985 and November 2009. We retrieved relevant studies through: (i) a PubMed search based on MeSH keywords (e.g. 'Environment Design', 'Residence Characteristics' or 'Small-Area Analysis', combined with 'Obesity', 'Overweight', 'Blood pressure', 'Diabetes Mellitus', 'Dyslipidemias' or 'Metabolic Diseases') and specific word titles (e.g. 'Community', 'Neighborhood*', 'Neighbourhood*' or 'Place*', combined with 'Adiposity', 'Insulin resistance', 'Hypertension' or 'Metabolic syndrome'), and (ii) hand-screening of the reference lists and citations (ISI Web of Knowledge) of the selected articles. Details of the PubMed search methodology (including exhaustive lists of keywords used in the searches) are provided in Online Appendix S1.

Study selection

The two authors were implied in all steps of the study selection process. All abstracts identified from PubMed were screened by the first author (C. L.) to identify potentially eligible articles. C.L. reviewed the full texts and the second author (B.C.) verified, during daily meetings, which studies met the pre-defined inclusion/exclusion criteria.

Inclusion criteria were: (i) investigating at least one measured or self-reported outcome related to body weight/shape, blood pressure/hypertension, cholesterol or triglyceride levels, insulin resistance, impaired fasting glucose or type 2 diabetes or the metabolic syndrome; (ii) estimating associations between environmental variables assessed on a collective geographic scale related to *geographic* life environments and measured on an infra-national scale and CMRFs; and (iii) adjusting models for at least one individual socioeconomic characteristic to avoid excessive confounding.

Exclusion criteria were specified to restrict the scope of the review to studies examining associations between real-world environmental characteristics and CMRFs. We excluded studies: (i) only assessing geographic variations in CMRFs without incorporating any characteristics of geographic areas; (ii) only considering environmental variables related to *non-geographic* life environments (e.g. household functioning, workplace characteristics, etc.); and (iii) experimental studies simulating environmental factors (e.g. noise) in the laboratory.

Data extraction and assessment of studies

Detailed information on selected studies was extracted and tabulated by C. L. (outcome variables, study design, environmental exposures, statistical analysis, adjustment strategies, modification and mediation analyses, and main findings). The daily meetings scheduled between the co-authors permitted to reach a full agreement between them in the content of the extracted data. To strengthen the literature assessment, we created a specific score allowing us to evaluate the quality of studies dealing with associations between environmental exposures and CMRFs (see Online Appendix S2).

Results

Overview of the review process

The PubMed search retrieved 5357 abstracts. Thirty-six studies were included during the screening of the abstracts, and 336 were selected for a full text examination. From these 336, 57 other articles were included in the review. We then performed a hand-screening search in the 5774 refer-

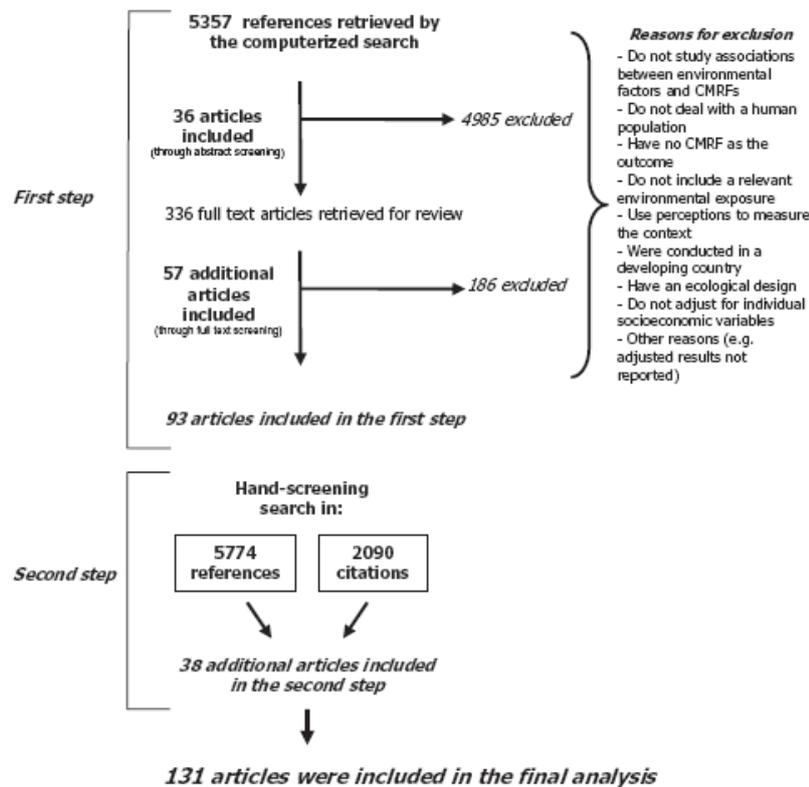


Figure 1 Computerized and hand-screening searches (see Online Appendix S1 for details on the search protocol). We distinguish between studies that were included in the review through the screening of abstracts, through the screening of full texts, and through the screening of citations and references. CMRF, cardiometabolic risk factor.

ences and 2090 citations of these articles. Thirty-eight other articles were retrieved, leading to a total of 131 articles (see details in Fig. 1).

Additional resources provided to the readers as Online Appendices include: a detailed table (Online Appendix S3) and a summary table (Online Appendix S4) reporting all information extracted from the 131 articles, and exhaustive lists of studies presenting each specific characteristic in Online Appendix S5 (only examples are provided below). We also refer the readers to Fig. 2 that provides an overview of the development of the literature over the past 24 years and illustrate the progression of the quality of these studies over time (based on the quality score described in Online Appendix S2).

Main characteristics of the samples

Seventy-nine studies out of 131 were published over the past 4 years (2006–2009), indicating a recent increase in the interest for these issues. 66% of the selected studies

were conducted in the USA, 7% in Sweden, 6% in Canada and 5% in the UK.

Of the studies, 66% considered adult samples (>18 years), 17% focused on children or adolescent and 16% included both children/adolescents and adults. 91% of the studies with children/adolescents were devoted to weight-related outcomes.

Of the studies, 53% included between 1000 and 10 000 participants and 31% of them between 10 000 and 100 000 participants. The minimum and maximum sample sizes were 67 (4) and 1 611 961 (5).

Outcomes

Definition

Each study investigated from one to five CMRFs. 81% of the studies dealt with weight-related outcomes, and 73% only considered weight outcomes. 21% of the studies investigated blood pressure, 7% diabetes or insulin resistance,

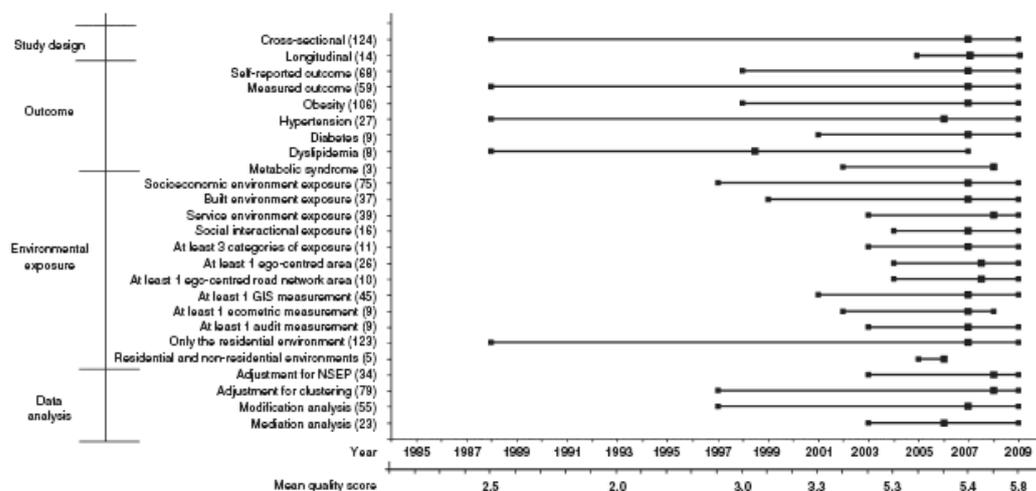


Figure 2 Progression of the quality of studies on geographic environments and cardiometabolic risk factors over the past 24 years (see Online Appendix S2 for details on the quality score). For each specific study characteristic (the number in parenthesis refers to the number of studies), we report the first, median, and last years of the corresponding studies that were reviewed. At the bottom of the figure, we report the progression of the mean quality score of these studies. GIS, geographic information system; NSEP, Neighborhood Socioeconomic Position.

6% dyslipidemias and 2% the metabolic syndrome. 55% of the studies relied only on self-reported outcomes.

Almost all weight-related studies relied on outcomes based on body mass index (BMI), either as a continuous or categorical outcome. Only five studies investigated specific measures of body fat: waist-to-hip ratio (e.g. (6)) and BMI and skin-fold measures combined in a single outcome (7).

Regarding blood pressure/hypertension, studies considered either (i) systolic and/or diastolic blood pressure as continuous outcomes (e.g. (8,9)); (ii) purely self-reported hypertension outcomes (e.g. (10)); or (iii) other outcomes combining information on systolic/diastolic blood pressure exceeding different thresholds with anti-hypertensive medication use (e.g. (11)) or a self-reported diagnosis of hypertension (12).

Four of the nine studies on diabetes (e.g. (13)) defined the outcome based only on participant-reported information, whereas four others involved measurement of insulin resistance or fasting glucose (e.g. (14)). Even the three studies related to the metabolic syndrome (e.g. (15)) considered different definitions of the outcome.

Longitudinal assessment

We devoted particular attention to longitudinal studies. Only 14 studies assessed an outcome longitudinally (Table 1). Of these studies, most (nine) considered weight status, three blood pressure and two diabetes. These studies included between two and seven (16) successive measurements of the risk factors. The shortest follow-up lasted 1

year and the longest 10 years (17). In obesity analyses, outcomes corresponded to the difference between two distinct measures of BMI over time (e.g. (18)) or repeated measures of BMI directly accounted for in regression models (16,17). Studies on hypertension involved hypertension incidence and blood pressure change (9,10), while the diabetes ones involved only measures of incidence (14).

Environmental exposures

Type of environment

Of the studies, 90% investigated exclusively residential environmental exposures, while 6% exclusively non-residential environmental exposures (e.g. (19)), and only 4% both residential and non-residential environments (e.g. (2)). The non-residential environments investigated were the school environment in most cases (e.g. (20)), the geographic work environment (2) and the shopping environment (21).

Spatial scale

As much as 73% of the studies relied only on pre-defined administrative area subdivisions to determine environmental exposures. 74% of the studies provided no information on area population size. In the remaining studies, area population size was less than 1000 in 26% and greater than 10 000 in 23% of the cases.

Twenty-six studies measured environmental variables within buffers (i.e. areas delimited by considering a certain

Table 1 Description of the longitudinal studies on the environmental correlates of CMRFs

Author (sample)	CMRF	Type of outcome	Measurement	# of measures	Length of follow-up	Spatial scale	Analyses	Contextual variables	Association
Schootman (29) (n = 644)	Diabetes	Incidence	Self-reported	2	3 years	Block face	Non-multilevel logistic models	Air and noise pollution Street and road quality	NS NS
Auchincloss (14) (n = 2285)	Diabetes	Incidence	Measured	3	5 years	4 16 census tracts	Multilevel survival regression models	Physical deterioration Availability of healthy foods (stores and restaurants) Sport or recreational facilities	+ - -
Cozier (10) (n = 36066)	Hypertension	Incidence	Self-reported	3	6 years	20 192 block groups	Generalized estimating equation	Socioeconomic level Ethnicity	- NS
Eriksson (12) (n = 2027)	Hypertension	Incidence	Measured	2	10 years	At the residential address	Non-multilevel binomial models	Noise pollution	+
Li (9) (n = 1145)	Blood pressure	Change	Measured	2	1 year	120 census block groups	Multilevel linear models	Fast-food restaurants Walkability score	+ -
Mujahid (32) (n = 13167)	BMI	Change	Measured	3	9 years	594 block groups	Multilevel linear models	Socioeconomic level	NS
Eid (18) (n = 5312)	BMI	Change	Self-reported	2	2 years	2-miles circular buffers	Non-multilevel linear models	Sprawl index Density of destinations	NS NS
Ewing (16) (n = 6677)	BMI	Change	Self-reported	7	7 years	938 counties	Multilevel linear models	Sprawl index	NS
Oliver (17) (n = 2152)	BMI	Change	Self-reported	5	10 years	Areas with 125-400 dwellings	Longitudinal two-level linear growth model	Socioeconomic level Urbanization degree	- NS
Plantinga (44) (n = 262)	BMI	Change	Self-reported	2	2 years	448 counties	Non-multilevel linear models	Sprawl index	+
Sturm (47) (n = 13828)	BMI	Change	Self-reported	3	3 years	Metropolitan area Home/school/Zip code	Multilevel linear models	Food stores Traditional or fast-food restaurants	+ NS
Bell (36) (n = 3831)	BMI	Change	Measured	2	2 years	1-km circular and road network buffer Census block groups	Non-multilevel linear models	Green spaces Residential density Socioeconomic level	- NS NS
Li (70) (n = 1221)	BMI Waist circumference	Change	Measured	2	1 year	120 census block groups	Multilevel linear models	Fast-food restaurants Walkability score	NS NS
Mienten (37) (n = 7788)	Obesity	Chronic obesity	Self-reported	3	6 years	1 267 census tracts	Multilevel logistic models	Socioeconomic level	-

BMI, body mass index; CMRF, cardiometabolic risk factor.

radius around individuals' residences, workplaces, etc.). One of these studies defined buffers around both residence and workplace (2), another around both residence and school (20), and a third one defined buffers exclusively around schools (22). Buffers were of circular form in 65% of the cases, and were otherwise defined in terms of street network distance, as recommended (23). The radius of circular buffers varied in size from 100 (24) to 4800 m (25), while network buffer radii varied between 640 (26) and 2000 m (27).

Alternatively, other studies defined contextual variables at the street level (28) or at the block-face level (29).

Measurement approaches

Of the studies, 50% relied only on administrative data sources to define contextual variables (e.g. data from the population census or public administrations). The second most frequent measurement approach, used in 34% of the studies, was based on Geographic Information Systems, i.e. computer software relating spatially defined geographic shapes with descriptive information about these features. This approach was used to derive straight-line or street network distances to services or measure characteristics of the physical and service environments within buffers.

Other measurement approaches included the aggregation of individual perceptions of the environment from different inhabitants of the same neighbourhood to construct variables at the neighbourhood level (in 7% of the studies, e.g. (30,31)) and the audit of resources through systematic observation performed by independent and trained raters (in 7% of the studies, e.g. (28,29)).

Type of environmental characteristics

As previously proposed (3), we classified environmental factors in four categories related to the sociodemographic environment, physical environment, services available in the environment and local social interactions (see Table 2 for details). 57% of the studies considered contextual factors related to the sociodemographic or socioeconomic environment. Regarding more specific environmental exposures/resources, 36% of the studies measured variables related to the physical environment (e.g. vegetation, condition of buildings, road traffic noise, etc.), and 30% involved variables of the services available in the environment (e.g. food stores or sport facilities). Only 12% of the studies considered social interactions in the local environment (e.g. crime rate or social cohesion).

Statistical analyses and adjustment of associations

When investigating environmental effects, it is common to rely on population samples with individuals clustered within areas. As recommended, many studies relied on

multilevel modelling (e.g. (32)) or generalized estimating equations (10) to account for the clustering of risk factors within areas.

A critical challenge is to ensure that the estimated environmental effects are not attributable to differences between areas in terms of individual characteristics intervening as confounders. 36% of the studies were adjusted for only one individual socioeconomic variable (which is insufficient), 53% for two or three individual socioeconomic variables and 10% for four or five such variables. Interestingly, one study considering obesity at adult age also controlled for childhood socioeconomic status (33).

Only 38% of the studies considering environmental exposures related to the physical, service or social- interactional environment reported analyses controlling for area socioeconomic characteristics as potential confounders (e.g. (28,33)), as recently recommended (3,34). Moreover, studies investigating the effects of different environmental exposures/resources often do not report analyses considering these variables simultaneously in a regression model (e.g. (35)).

Associations between environmental factors and cardiometabolic risk factors

Sociodemographic environment

The most investigated sociodemographic factor was socioeconomic level, followed by ethnic composition and population density (Table 2). After individual-level adjustment, low area socioeconomic level was generally significantly associated with an increased risk of CMRFs (in 42 of the 56 studies on obesity, 8 of the 12 studies on hypertension, 3 of the 4 studies on diabetes and dyslipidemia and 2 of the 2 studies on the metabolic syndrome).

Paying particular attention to longitudinal studies (Table 1), we identified only four studies on weight status (17,32,36,37) and one on hypertension (10) investigating socioeconomic environment effects. In one study on obesity, after individual-level adjustment, living in a poor neighbourhood was associated with an increase in BMI percentile over 10 years (17). However, in two other studies investigating BMI change over 2 and 9 years, there were no consistent differences in longitudinal trends in BMI by neighbourhood socioeconomic characteristics (32,36). Regarding hypertension, a significant inverse association was found between median housing value and hypertension incidence over 6 years (10).

Physical environment

Regarding physical environmental factors, the most commonly investigated dimensions in weight status studies were the urbanization degree and street and road network characteristics (e.g. type of road, connectivity and side-

Table 2 Main environmental exposures considered for each cardiometabolic risk factor in 120* studies included in the systematic review†

	Obesity	Hypertension	Diabetes	Dyslipidemia	Metabolic syndrome
Sociodemographic environment	63 (52)	12 (9)	4 (3)	4 (3)	3 (2)
Demographic dimension	24 (11)	3 (0)	0	0	1 (0)
Age	0	1 (0)	0	0	0
Ethnicity	14 (5)	3 (0)	0	0	1 (0)
Population size/density	14 (7)	0	0	0	0
Residential stability	2 (1)	0	0	0	0
Socioeconomic dimension	56 (49)	12 (9)	4 (3)	4 (3)	2 (2)
Socioeconomic level	56 (47)	12 (9)	4 (3)	4 (3)	2 (2)
Socioeconomic inequalities	8 (5)	1 (1)	0	0	0
Physical environment	36 (29)	13 (11)	2 (1)	3 (2)	0
Urbanization degree	14 (12)	3 (1)	1 (0)	1 (0)	0
Residential unit density	7 (3)	1 (1)	0	0	0
Street and road network	11 (6)	0	1 (0)	0	0
Type of road (e.g. highway)	3 (2)	0	1 (0)	0	0
Connectivity	8 (4)	0	0	0	0
Sidewalks	2 (1)	0	1 (0)	0	0
Outside building condition	5 (3)	0	1 (1)	0	0
Physical deterioration	5 (3)	0	1 (1)	0	0
Aesthetic architectural features	1 (0)	0	0	0	0
Air and noise pollution	2 (1)	10 (8)	1 (0)	2 (2)	0
Temperature/climate	2 (1)	2 (1)	0	0	0
Altitude/slope	2 (1)	0	0	0	0
Parks/green spaces	7 (5)	1 (1)	0	0	0
Services	37 (30)	3 (2)	2 (1)	1 (0)	0
Food environment	29 (22)	2 (1)	2 (1)	1 (0)	0
Food stores	21 (13)	2 (1)	2 (1)	1 (0)	0
Traditional or fast-food restaurants	20 (9)	1 (1)	0	0	0
Sport or recreational facilities	8 (3)	0	0	0	0
Healthcare resources	1 (1)	0	0	0	0
Density of destinations	5 (4)	0	0	0	0
Public transportation	4 (2)	0	0	0	0
Social interactions in the environment	14 (8)	2 (2)	0	0	0
Insecurity/crime	10 (4)	2 (2)	0	0	0
Social cohesion/social capital	7 (5)	2 (2)	0	0	0
All environmental factors	96 (89)	26 (21)	7 (5)	8 (5)	3 (2)

*Studies using composite indexes encompassing different environmental dimensions of our classification (e.g. on both the physical and service environments) are not reported in the present table. Such composite variables include indicators of sprawl (six studies [four reporting a significant association]), walkability (four [three]) and land-use mix (six [six]).

†We indicate the number of studies in each case, and in parenthesis the number of studies in which statistically significant associations were reported. We are aware that statistical significance or non-significance are arbitrary notions, especially in light of the major differences between studies in designs, adjustment strategies, measurement approaches, etc.

walks). Air and noise pollution was the most commonly considered physical risk factor for hypertension.

As regards urbanization, 12 of the 14 obesity studies observed that residing (e.g. (5,20)) or attending a school (38) in a less urbanized or in a rural environment rather than an urban one was associated with an increased body weight.

Regarding street and road network characteristics, four out of eight studies reported that living in areas with high street connectivity was associated with lower weight status (33,39) and two studies found that people in areas with higher densities of highways were more likely to be overweight (28,40). Additionally, studies investigating whether

environmental scores of walkability, land-use mix or sprawl (e.g. (41)) influence BMI confirmed that environments with a high density of residential units, street intersections, and services are associated with decreased BMI. Other reasonably consistent physical environmental predictors of obesity include physical deterioration of the neighbourhood (e.g. (35,42)) and the absence of parks or green spaces (e.g. (26,35)).

Eight out of 10 studies considering noise pollution found that exposure to high road traffic (e.g. (43)) and aircraft (e.g. (12)) noise was associated with higher blood pressure levels and hypertension prevalence. Regarding dyslipidemia, the only two studies available for example reported

that a high traffic noise was associated with a higher triglycerides level (43).

Nine of the 14 longitudinal studies on the environment and CMRFs (e.g. (6,29)) investigated at least one aspect of the physical environment. Only two studies on BMI change (36,44) and two on blood pressure/hypertension (9,12) reported a significant association. The former study ($n = 262$ participants) reported that, after adjustment, individuals who had moved to a less sprawling county tended to have had a more favourable BMI change (44).

Services available in the environment

Services available in the environment were significantly associated with weight status in 81% of the studies (30 out of 37) that tested such relationships. Statistically significant associations were reported between aspects of the food environment and weight status in 22 of the 29 reviewed studies.

Accessibility to supermarkets and groceries was associated with a lower weight status in six studies (e.g. (31,45)), while exposure to convenience stores was associated with a higher weight status in four studies (e.g. (42)). Other studies, however, did not report any significant association between accessibility to food stores and weight status (46).

Only nine of the 20 studies considering restaurants reported a statistically significant association with obesity. Of the nine studies, six reported that an increase in fast-food restaurant density was associated with a higher body weight (e.g. (45)) while three studies observed that a higher availability of restaurants (2) or full-service restaurants (25) was associated with a lower body weight.

Regarding food prices, an increase in prices of fruits and vegetable was found to be associated with a higher body weight (47). In contrast, a study found that a one dollar increase in the price of a fast-food meal in the participant's school city was associated with a 2.2% reduction in prevalence of overweight (19).

It appears that fewer significant relationships were documented between sport or recreational facilities and body weight. Two studies indicated that a high level of accessibility to sport facilities was negatively associated with BMI (28,48), but one study reported an association in the opposite direction and the others no association.

Only few studies investigated the effects of the service environment on hypertension (49–51) and diabetes (30,49). One study found that residents of neighbourhoods with a higher availability of healthy foods were less likely to be hypertensive (50). Another study examining diabetes in the USA reported a positive association between the distance to a neighbourhood with good physical activity resources and insulin resistance (30), while another study did not find any association between the presence of

food stores and diabetes (49). The latter study found no associations between the availability of food stores and cholesterol.

Longitudinal studies on obesity (6,18,47) found no effects of the service environment. However, other studies noted a detrimental effect of fast-food restaurant density on blood pressure change (9) and a beneficial effect of physical activity resources and healthy foods on the incidence of diabetes (14).

Social interactions in the environment

Eight of 14 studies reported significant associations between local social interactions and body weight (e.g. (31,48)), while it was the case in two of the two studies on hypertension/blood pressure (8,50). Most of the studies considering social interactions assessed insecurity or criminality levels. Four (e.g. (48,52)) of the 10 studies investigating associations between insecurity/criminality and body weight found statistically significant relationships. Regarding hypertension/blood pressure, the only two studies on this issue reported that neighbourhood crime experience was associated with increased blood pressure (8,50).

Social cohesion/capital was the second most commonly investigated dimension. Five of seven studies on weight status (e.g. (31,42)) and two of two on hypertension/blood pressure (8,50) found that residing or attending a school in areas with more supportive social interactions was associated with a lower body weight and blood pressure.

Importantly, no longitudinal study and no study related to dyslipidemias, diabetes or the metabolic syndrome investigated social interactions in the environment as the exposure.

Modification and mediation of the environment–cardiometabolic risk factor associations

Modification of environmental effects

Overall, 42% of the studies examined interactions between environmental effects and individual/contextual characteristics or performed stratified analyses, allowing the identification of populations at a particular risk from environmental exposures. To facilitate the literature assessment, we classified individual-level modifiers in four categories: sociodemographic variables, health variables, health behaviour and psychosocial aspects (see Online Appendix S6). Clearly, the modification effects most frequently examined were related to individual sociodemographic characteristics, i.e. to gender, ethnicity and individual socioeconomic characteristics (in 45 studies).

Although few consistent findings emerged, it was frequently reported that associations were stronger among women and low-socioeconomic-status individuals. For

example, studies reported stronger associations between income inequalities (53), recreational values of the environment (54), sidewalk condition (55) and CMRFs among low-socioeconomic-status individuals.

Besides individual-level modifiers, only six studies on obesity (e.g. (21,56)) and one on blood pressure (9) examined whether effects of environmental variables were modified by other environmental factors. For example, a study evaluated whether neighbourhood crime modified relationships between distance to the nearest playground or fast-food restaurant and overweight, but found no significant interactions (56).

Mediating mechanisms between environmental factors and cardiometabolic risk factors

To identify the mechanisms involved in the relationships, 18% of the studies investigated the mediating role of individual or contextual characteristics (Online Appendix S6), generally reporting changes in environmental effects on CMRFs before and after inclusion of the suspected mediators.

As shown in Online Appendix S6, the mediating mechanisms most investigated were related to individual health behaviour such as physical activity and dietary behaviour, corresponding to 13 and 2 studies on obesity and diabetes, respectively. Four studies reported that physical activity (modelled alone or with other mediators) had a mediating role in associations between physical environmental factors and obesity. In one study, adding physical activity to the model (with no other mediator simultaneously) decreased the strength of the association between land use mix and BMI by only 5% (57). Dietary behaviour was the second most commonly investigated mediator (in six and two studies of obesity and diabetes, respectively), but always with physical activity and other mediators introduced simultaneously into the model.

Other studies considered health variables as mediators. For example, two studies found that area-level socioeconomic effects on diabetes were reduced when controlling for BMI (and for physical activity and diet) (30,58), whereas another study did not find any change in material deprivation effects on diabetes after adjustment for BMI and other physiological factors (59).

Only four studies examined whether relationships between environmental characteristics and CMRFs (always obesity) were mediated by another contextual variable. For instance, one study reported that area social capital did not mediate the association between county sprawl index or mean household income and obesity (60).

Discussion

Our systematic review summarizes the methods and findings of studies on the associations between geographic life

environment and CMRFs published between 1985 and 2009. Based on this review and on an assessment of the strengths and weaknesses of the literature, we propose a research agenda for future research (see Table 3).

Strengths and limitations of the review

Contrary to previous reviews that only considered obesity, a particular strength of our work is that we assessed a broad range of CMRFs. So far, the evidence for environmental effects on hypertension, diabetes and the metabolic syndrome has not been summarized. A second strength of our study is the systematic review methodology and the very large number of abstracts ($n = 5357$) and selected articles ($n = 131$) that were screened.

Regarding limitations, we may have missed relevant studies when screening references and citations of the selected articles if their investigation of environmental determinants of CMRFs was not detectable from the title. Second, we were not able to evaluate how publication biases towards positive findings affected our evaluation. Finally, the small number of studies examining a specific environmental exposure and outcome prevented a quantitative meta-analysis.

Overview of the associations estimated

The most consistent associations reported were between socioeconomic characteristics of residential neighbourhoods and weight status and blood pressure, with more unfavourable CMRF profiles in socially deprived neighbourhoods after adjustment for individual socioeconomic characteristics.

Regarding aspects of the physical environment, another remarkably consistent association was higher obesity levels in less urbanized settings, a pattern of association in the opposite direction from developing countries where increased urbanization is related to higher body weight (52). Coherently, a number of studies reported that residing in a neighbourhood with a high density of street intersections, residential units and services was associated with a lower risk of obesity (e.g. (33,57)). Other reasonably consistent physical environmental predictors of CMRFs include physical deterioration of the neighbourhood (e.g. (35,42)) and the absence of parks (e.g. (26,35)) for obesity, and noise pollution for blood pressure (e.g. (43)).

Regarding the food environment, reasonably consistent associations were reported between accessibility to a supermarket and lower body weight (e.g. (45,49)), and between convenience store (e.g. (42,61)) and fast-food restaurant (6,62) accessibility and higher body weight.

Regarding social interactions, certain studies reported that insecurity/criminality was associated with an increased body weight (e.g. (48,52)) and blood pressure (e.g. (8,50)),

Table 3 Research agenda for the future investigations of the environmental determinants of CMRFs

Outcomes
<ul style="list-style-type: none"> • Avoid studies relying on self-reported CMRF outcomes. • Take into account, in addition to body mass index, parameters of abdominal adiposity and visceral fat. • Develop studies on diabetes, dyslipidemias and the metabolic syndrome. • Prioritize studies with a longitudinal assessment of the outcome.
Environmental exposures
<ul style="list-style-type: none"> • Define ego-centred geographic areas that approximate the actual space of activity of individuals in their local environment. • Take into account non-residential geographic environments (e.g. the geographic work, school or shopping environments) in addition to the residential environment. • Assess the spatial scale on which environmental factors affect the outcomes. • Distinguish between acute and chronic environmental exposures. • Perform studies with a longitudinal assessment of environmental exposures. • Develop and apply efficient protocols to characterize the food environment and social interactions that take place in the neighbourhood. • Take into account the accessibility to healthcare services, a particularly neglected dimension in the reviewed studies.
Analytic design
<ul style="list-style-type: none"> • Apply multilevel or spatial regression techniques to assess the magnitude and scale of geographic variations in CMRFs. • Rely on directed acyclic graphs to present research hypotheses in an explicit way and identify individual or neighbourhood variables that should be considered as confounders, modifiers, mediators or sources of selection bias. • Take into account area-level confounding by adjusting the environment-CMRF associations for area socioeconomic characteristics and other area characteristics (pay attention, however, to the risk of collider bias). • Measure selective migration processes and take them into account during the analyses. • Investigate and disentangle the individual-level mechanisms mediating associations between environmental variables and CMRFs. • Develop questionnaires to measure the experiences individuals have in their environment, as possible contributors to the environment-CMRF associations of interest.

CMRF, cardiometabolic risk factor.

but other studies reported negative findings. Studies investigating social cohesion were perhaps more consistent in finding that geographic life environments with supportive social interactions are associated with lower odds of obesity (e.g. (31,42)) or high blood pressure (8,50).

Methodological limitations and recommendations

Study design

Most of the studies relied on a cross-sectional design, not permitting inference on the direction of the underlying causal effects. Selective migration and the selective location of resources represent two major sources of confounding (3). First, relationships between the availability of resources (e.g. fast foods, sport facilities) and CMRFs are probably biased by the selective location of resources by public or private agents near populations willing to use them. A second source of bias is related to selective migration, by which people with specific characteristics tend to move towards particular areas. Three reviewed studies (16,18,44) investigated health-related selective migration to specific areas. Given the small number of longitudinal studies (14 out of 131), a key recommendation is to undertake more cohort studies involving repeated measurements of CMRFs, to account for selective migration and model growth curves in these outcomes.

However, even longitudinal designs may be unable to remove all selective migration biases, as migrations bring

specific individuals into specific neighbourhoods before the follow-up. Investigators should therefore collect specific information on participants' a priori reasons for selecting their particular neighbourhood (3,63), to better adjust their models.

Cardiometabolic risk factors and their measurement

First, in 52% of the studies, outcomes were self-reported. As it is difficult to predict in which direction associations are distorted when relying on self-report, investigators should restrict their efforts to measured outcomes. Second, it is critical to focus on the environmental correlates of hypertension, diabetes, dyslipidemias and the metabolic syndrome, which have received much less attention than obesity. Third, only 3% of the studies examined specific measures of body fat and no studies considered measures of visceral fat, which future environmental research should therefore address.

Finally, to facilitate comparison across studies, investigators could report findings on environmental influences using different approaches to the outcome (e.g. both a continuous and a binary variable when appropriate, or the different definitions of a condition).

Measurement of environmental exposures

A considerable number of studies defined contextual variables within administrative areas. It is now widely recognized that these measures may not reflect the environmental

conditions to which individuals are exposed (3). Whenever possible, investigators should rely on ego-centred definitions of areas that approximate individuals' local activity spaces (23), i.e. areas centred on individuals' residences. Also, researchers should define these ego-centred geographic areas on different scales (by considering different area radii in sensitivity analyses), and should not exclusively focus on residential environments but account for other geographic life environments (21).

Whereas early studies exclusively investigated neighbourhood sociodemographic characteristics, recently released databases and geographic information systems allow researchers to ascertain various characteristics of the physical and service environment. Regarding the latter, more studies are needed to assess whether the availability of recreational and sport facilities has any detectable effect on body weight. A particular challenge relates to the assessment of the food environment, for which measures of the type of food stores and restaurants need to be completed by in-store and in-restaurant assessments. Also, future research should investigate effects of the accessibility to healthcare services on CMRFs, which have been almost entirely ignored (except in (64)).

Interestingly, we found that investigators have devoted more attention to the physical and service environments than to the social interactions in the environment. However, there is evidence supporting the hypothesis that neighbourhood social interactions may influence CMRF incidence, either through their effect on health behaviour or through direct stress effects (3). Importantly, our recommendation of a greater focus on area social interactions implies particular efforts to measure these characteristics, which are inadequately documented in administrative sources. As systematic observation (involving trained raters with checklists assessing aspects of the environment) is known to be less accurate for the assessment of social interactions than for aspects of the physical environment (65), a promising avenue is to develop econometric approaches aggregating individual responses to survey questions on the environment to construct indicators at the neighbourhood level (3).

Analytic approaches

Before estimating associations with environmental characteristics, investigators should investigate the geographic distribution of CMRFs, using multilevel and spatial regression techniques to assess the magnitude and spatial scale of geographic variations of these outcomes (66,67).

We recommend relying on directed acyclic graphs to present hypotheses explicitly and to identify individual or neighbourhood variables intervening as confounders, modifiers, mediators or sources of selection bias for the associations of interest (34). Importantly, in addition to individual socioeconomic variables, neighbourhood socio-

economic status may intervene as an important source of bias in a number of studies of the associations between environmental exposures and CMRFs. For example, Morland (49) did not investigate whether the association between the availability of supermarkets and overweight persisted after adjustment for neighbourhood socioeconomic position. We thus recommend that investigators report their findings on environment–health associations also adjusted for neighbourhood socioeconomic variables at least in sensitivity analyses, even if such adjustment may induce other biases in specific situations (34).

In future research, it is important to assess whether associations between particular environmental factors and CMRFs are stronger in specific population subgroups, e.g. among women and low-socioeconomic-status groups as often documented. However, beyond basic individual sociodemographic or health characteristics, future research should examine whether psychological characteristics, social support and experiences in or perceptions of the neighbourhood modify environment–CMRF associations.

Assessing mediating pathways explaining associations between environmental characteristics and CMRFs may lead to proposing more efficient interventions targeting mechanisms. Ideally, the aim would be to rank the different mechanisms according to their importance in mediating the environment–CMRF associations of interest. However, such information is lost when all potential mediators are included, all together at a time, into the model (3), as commonly done in the reviewed studies. Related approaches to investigate mediating mechanisms include path analysis (68) or a recent framework to estimate direct and indirect effects under various assumptions (69). Based on these techniques, a challenge for future research is to examine whether the affective, cognitive and relational experiences that individuals have in their environments influence health behaviours (including healthcare utilization, a particularly neglected mediator), which in turn contribute to cardiometabolic risk.

Conclusion

Our systematic review of 131 studies published over 24 years allowed us to identify methodological limitations and underinvestigated areas of research, leading to a number of recommendations related to the study design and outcomes, assessment of environmental exposures and analytic approaches (Table 3). We hope that this research agenda will allow us to strengthen evidence regarding environmental influences on CMRFs, and develop more efficient multilevel public health interventions targeting both the environmental exposures, the individual circumstances that modify their influence, and their mechanistic pathway to cardiometabolic risk.

Acknowledgements

As part of the RECORD project, the present work was funded by the National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) (Health-Environment Program 2005 #00153 05); the Institute for Public Health Research (Institut de Recherche en Santé Publique); the National Institute for Prevention and Health Education (Institut National de Prévention et d'Education Pour la Santé) (Prevention Program 2007 074/07-DAS); the National Institute of Public Health Surveillance (Institut de Veille Sanitaire) (Territory and Health Program); the French Ministries of Research and Health (Epidemiologic Cohorts Grant 2008); the National Health Insurance Office for Salaried Workers (Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés); the Ile-de-France Health and Social Affairs Regional Direction (Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Île-de-France); the Ile-de-France Public Health Regional Group (Groupement Régional de Santé Publique) and the Ile-de-France Youth and Sports Regional Direction (Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports). The authors also thank David Evans for his comments on the final version of the manuscript.

Conflict of Interest Statement

No conflict of interest was declared.

References

- Sharma AM, Chetty VT. Obesity, hypertension and insulin resistance. *Acta Diabetol* 2005; 42(Suppl. 1): S3-S8.
- Jeffery RW, Baxter J, McGuire M, Linde J. Are fast food restaurants an environmental risk factor for obesity? *Int J Behav Nutr Phys Act* 2006; 3: 2.
- Chaix B. Geographic life environments and coronary heart disease: a literature review, theoretical contributions, methodological updates, and a research agenda. *Annu Rev Public Health* 2009; 30: 81-105.
- Espinosa de Los Monteros K, Gallo LC, Elder JP, Talavera GA. Individual and area-based indicators of acculturation and the metabolic syndrome among low-income Mexican American women living in a border region. *Am J Public Health* 2008; 98: 1979-1986.
- Neovius M, Rasmussen F. Place of residence and obesity in 1,578,694 young Swedish men between 1969 and 2005. *Obesity (Silver Spring)* 2008; 16: 671-676.
- Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Bosworth M, Johnson-Shelton D, Moore JM, Acock A, Vongjaturapat N. Built environment and 1-year change in weight and waist circumference in middle-aged and older adults: Portland Neighborhood Environment and Health Study. *Am J Epidemiol* 2009; 169: 401-408.
- McMurray RGHJS, Bangdiwala SI, Deng S. Effects of road traffic noise on prevalence of hypertension in men: results of Luebeck Blood Pressure Study. *J Rural Health* 1999; 15: 365-374.
- Agyemang C, van Hooijdonk C, Wendel-Vos W, Ujic-Voortman JK, Lindeman E, Stronks K, Droomers M. Ethnic differences in the effect of environmental stressors on blood pressure and hypertension in the Netherlands. *BMC Public Health* 2007; 7: 118.
- Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Vongjaturapat N. Built environment and changes in blood pressure in middle aged and older adults. *Prev Med* 2009; 48: 237-241.
- Cozier YC, Palmer JR, Horton NJ, Fredman L, Wise LA, Rosenberg L. Relation between neighborhood median housing value and hypertension risk among black women in the United States. *Am J Public Health* 2007; 97: 718-724.
- Dragano N, Bobak M, Wege N, Peasey A, Verde PE, Kubinova R, Weyers S, Moebus S, Mohlenkamp S, Stang A, Erbel R, Jockel KH, Siegrist J, Pikhart H. Neighbourhood socioeconomic status and cardiovascular risk factors: a multilevel analysis of nine cities in the Czech Republic and Germany. *BMC Public Health* 2007; 7: 255.
- Eriksson C, Rosenlund M, Pershagen G, Hilding A, Ostenson CG, Bluhm G. Aircraft noise and incidence of hypertension. *Epidemiology* 2007; 18: 716-721.
- Cubbin C, Sundquist K, Ahlen H, Johansson SE, Winkleby MA, Sundquist J. Neighborhood deprivation and cardiovascular disease risk factors: protective and harmful effects. *Scand J Public Health* 2006; 34: 228-237.
- Auchincloss AH, Diez Roux AV, Mujahid MS, Shen M, Bertoni AG, Carnethon MR. Neighborhood resources for physical activity and healthy foods and incidence of type 2 diabetes mellitus: the multi-ethnic study of Atherosclerosis. *Arch Intern Med* 2009; 169: 1698-1704.
- Diez Roux AV, Jacobs DR, Kiefe CI. Neighborhood characteristics and components of the insulin resistance syndrome in young adults: the coronary artery risk development in young adults (CARDIA) study. *Diabetes Care* 2002; 25: 1976-1982.
- Ewing R, Brownson RC, Berrigan D. Relationship between urban sprawl and weight of United States youth. *Am J Prev Med* 2006; 31: 464-474.
- Oliver LN, Hayes MV. Effects of neighbourhood income on reported body mass index: an eight year longitudinal study of Canadian children. *BMC Public Health* 2008; 8: 16.
- Eid J, Overman HG, Puga D, Turner MA. Fat city: Questioning the relationship between urban sprawl and obesity. *Journal of Urban Economics* 2008; 63: 385-404.
- Powell LM, Auld MC, Chaloupka FJ, O'Malley PM, Johnston LD. Access to fast food and food prices: relationship with fruit and vegetable consumption and overweight among adolescents. *Adv Health Econ Health Serv Res* 2007; 17: 23-48.
- Nelson MC, Gordon-Larsen P, Song Y, Popkin BM. Built and social environments associations with adolescent overweight and activity. *Am J Prev Med* 2006; 31: 109-117.
- Inagami S, Cohen DA, Finch BK, Asch SM. You are where you shop: grocery store locations, weight, and neighborhoods. *Am J Prev Med* 2006; 31: 10-17.
- Janssen I, Boyce WF, Simpson K, Pickett W. Influence of individual- and area-level measures of socioeconomic status on obesity, unhealthy eating, and physical inactivity in Canadian adolescents. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 139-145.
- Chaix B, Merlo J, Evans D, Leal C, Havard S. Neighbourhoods in eco-epidemiologic research: Delimiting personal exposure areas. A response to Riva, Gauvin, Apparicio and Brodeur. *Soc Sci Med* 2009; 69: 1306-1310.
- Berke EM, Koepsell TD, Moudon AV, Hoskins RE, Larson EB. Association of the built environment with physical activity and obesity in older persons. *Am J Public Health* 2007; 97: 486-492.
- Seliske LM, Pickett W, Boyce WF, Janssen I. Association between the food retail environment surrounding schools and overweight in Canadian youth. *Public Health Nutr* 2009; 12: 1384-1391.

26. Tilt JH, Unfried TM, Roca B. Using objective and subjective measures of neighborhood greenness and accessible destinations for understanding walking trips and BMI in Seattle, Washington. *Am J Health Promot* 2007; 21: 371–379.
27. Rundle A, Neckerman KM, Freeman L, Lovasi GS, Purciel M, Quinn J, Richards C, Sircar N, Weiss C. Neighborhood food environment and walkability predict obesity in New York City. *Environ Health Perspect* 2009; 117: 442–447.
28. Giles-Corti B, Macintyre S, Clarkson JP, Pikora T, Donovan RJ. Environmental and lifestyle factors associated with overweight and obesity in Perth, Australia. *Am J Health Promot* 2003; 18: 93–102.
29. Schootman M, Andresen EM, Wolinsky FD, Malmstrom TK, Miller JP, Yan Y, Miller DK. The effect of adverse housing and neighborhood conditions on the development of diabetes mellitus among middle-aged African Americans. *Am J Epidemiol* 2007; 166: 379–387.
30. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Brown DG, Erdmann CA, Bertoni AG. Neighborhood resources for physical activity and healthy foods and their association with insulin resistance. *Epidemiology* 2008; 19: 146–157.
31. Cohen DA, Finch BK, Bower A, Sastry N. Collective efficacy and obesity: the potential influence of social factors on health. *Soc Sci Med* 2006; 62: 769–778.
32. Mujahid MS, Diez Roux AV, Borrell LN, Nieto FJ. Cross-sectional and longitudinal associations of BMI with socioeconomic characteristics. *Obes Res* 2005; 13: 1412–1421.
33. Grafova IB, Freedman VA, Kumar R, Rogowski J. Neighborhoods and obesity in later life. *Am J Public Health* 2008; 98: 2065–2071.
34. Chaix B, Leal C, Evans D. Neighborhood-level confounding in epidemiologic studies: unavoidable challenges, uncertain solutions. *Epidemiology* 2010; 21: 124–127.
35. Ellaway A, Macintyre S, Bonnefoy X. Graffiti, greenery, and obesity in adults: secondary analysis of European cross sectional survey. *BMJ* 2005; 331: 611–612.
36. Bell JE, Wilson JS, Liu GC. Neighborhood greenness and 2-year changes in body mass index of children and youth. *Am J Prev Med* 2008; 35: 547–553.
37. Merten MJ, Williams AL, Shriver LH. Breakfast consumption in adolescence and young adulthood: parental presence, community context, and obesity. *J Am Diet Assoc* 2009; 109: 1384–1391.
38. Bruner MW, Lawson J, Pickett W, Boyce W, Janssen I. Rural Canadian adolescents are more likely to be obese compared with urban adolescents. *Int J Pediatr Obes* 2008; 3: 205–211.
39. Scott MM, Dubowitz T, Cohen DA. Regional differences in walking frequency and BMI: what role does the built environment play for Blacks and Whites? *Health Place* 2009; 15: 882–887.
40. Lin G, Spann S, Hyman D, Pavlik V. Climate amenity and BMI. *Obesity (Silver Spring)* 2007; 15: 2120–2127.
41. Frank L, Kerr J, Saelens B, Sallis J, Glanz K, Chapman J. Food outlet visits, physical activity and body weight: variations by gender and race-ethnicity. *Br J Sports Med* 2009; 43: 124–131.
42. Grafova IB. Overweight children: assessing the contribution of the built environment. *Prev Med* 2008; 47: 304–308.
43. Babisch W, Ising H, Gallacher JE, Sharp DS, Baker IA. Traffic noise and cardiovascular risk: the Speedwell study, first phase. Outdoor noise levels and risk factors. *Arch Environ Health* 1993; 48: 401–405.
44. Plantinga AJS. The association between urban sprawl and obesity: is it a two-way street? *J Reg Sci* 2007; 47: 857–879.
45. Spence JC, Cutumisu N, Edwards J, Raine KD, Smoyer-Tomic K. Relation between local food environments and obesity among adults. *BMC Public Health* 2009; 9: 192.
46. Millstein RA, Yeh HC, Brancati FL, Batts-Turner M, Gary TL. Food availability, neighborhood socioeconomic status, and dietary patterns among blacks with type 2 diabetes mellitus. *Medscape J Med* 2009; 11: 15.
47. Sturm R, Datar A. Body mass index in elementary school children, metropolitan area food prices and food outlet density. *Public Health* 2005; 119: 1059–1068.
48. Mobley LR, Root ED, Finkelstein EA, Khavjou O, Farris RP, Will JC. Environment, obesity, and cardiovascular disease risk in low-income women. *Am J Prev Med* 2006; 30: 327–332.
49. Morland K, Diez Roux AV, Wing S. Supermarkets, other food stores, and obesity: the atherosclerosis risk in communities study. *Am J Prev Med* 2006; 30: 333–339.
50. Mujahid MS, Diez Roux AV, Morenoff JD, Raghunathan TE, Cooper RS, Ni H, Shea S. Neighborhood characteristics and hypertension. *Epidemiology* 2008; 19: 590–598.
51. Lovasi GS, Neckerman KM, Quinn JW, Weiss CC, Rundle A. Effect of individual or neighborhood disadvantage on the association between neighborhood walkability and body mass index. *Am J Public Health* 2009; 99: 279–284.
52. Singh GK, Kogan MD, van Dyck PC. A multilevel analysis of state and regional disparities in childhood and adolescent obesity in the United States. *J Community Health* 2008; 33: 90–102.
53. Diez-Roux AV, Link BG, Northridge ME. A multilevel analysis of income inequality and cardiovascular disease risk factors. *Soc Sci Med* 2000; 50: 673–687.
54. Bjork J, Albin M, Grahn P, Jacobsson H, Ardo J, Wadbro J, Ostergren PO. Recreational values of the natural environment in relation to neighbourhood satisfaction, physical activity, obesity and wellbeing. *J Epidemiol Community Health* 2008; 62: e2.
55. Boehmer TK, Hoehner CM, Deshpande AD, Brennan Ramirez LK, Brownson RC. Perceived and observed neighborhood indicators of obesity among urban adults. *Int J Obes (Lond)* 2007; 31: 968–977.
56. Burdette HL, Whitaker RC. Neighborhood playgrounds, fast food restaurants, and crime: relationships to overweight in low-income preschool children. *Prev Med* 2004; 38: 57–63.
57. Frank LD, Andresen MA, Schmid TL. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *Am J Prev Med* 2004; 27: 87–96.
58. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Brown DG, O'Meara ES, Raghunathan TE. Association of insulin resistance with distance to wealthy areas: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Am J Epidemiol* 2007; 165: 389–397.
59. Andersen AF, Carson C, Watt HC, Lawlor DA, Avlund K, Ebrahim S. Life-course socio-economic position, area deprivation and Type 2 diabetes: findings from the British Women's Heart and Health Study. *Diabet Med* 2008; 25: 1462–1468.
60. Kim D, Subramanian SV, Gortmaker SL, Kawachi IU. State- and county-level social capital in relation to obesity and physical inactivity: a multilevel, multivariable analysis. *Soc Sci Med* 2006; 63: 1045–1059.
61. Galvez MP, Hong L, Choi E, Liao L, Godbold J, Brenner B. Childhood obesity and neighborhood food-store availability in an inner-city community. *Acad Pediatr* 2009; 9: 339–343.
62. Li F, Harmer PA, Cardinal BJ, Bosworth M, Acocck A, Johnson-Shelton D, Moore JM. Built environment, adiposity, and physical activity in adults aged 50–75. *Am J Prev Med* 2008; 35: 38–46.
63. Frank LD, Saelens BE, Powell KE, Chapman JE. Stepping towards causation: do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Soc Sci Med* 2007; 65: 1898–1914.

64. Santana P, Santos R, Nogueira H. The link between local environment and obesity: a multilevel analysis in the Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Soc Sci Med* 2009; 68: 601–609.
65. Zenk SN, Schulz AJ, Mentz G, House JS, Gravelle CC, Miranda PY, Miller P, Kannan S. Inter-rater and test-retest reliability: methods and results for the neighborhood observational checklist. *Health Place* 2007; 13: 452–465.
66. Merlo J, Chaix B, Yang M, Lynch J, Rastam L. A brief conceptual tutorial of multilevel analysis in social epidemiology: linking the statistical concept of clustering to the idea of contextual phenomenon. *J Epidemiol Community Health* 2005; 59: 443–449.
67. Chaix B, Merlo J, Subramanian SV, Lynch J, Chauvin P. Comparison of a spatial perspective with the multilevel analytical approach in neighborhood studies: the case of mental and behavioral disorders due to psychoactive substance use in Malmo, Sweden, 2001. *Am J Epidemiol* 2005; 162: 171–182.
68. Chaix B, Ducimetiere P, Lang T, Haas B, Montaye M, Ruidavets JB, Arveiler D, Amouyel P, Ferrieres J, Bingham A, Chauvin P. Residential environment and blood pressure in the PRIME Study: is the association mediated by body mass index and waist circumference? *J Hypertens* 2008; 26: 1078–1084.
69. Petersen ML, Sinesi SE, van der Laan MJ. Estimation of direct causal effects. *Epidemiology* 2006; 17: 276–284.
70. Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Bosworth M, Johnson-Shelton D. Obesity and the built environment: does the density of neighborhood fast-food outlets matter? *Am J Health Promot* 2009; 23: 203–209.

Supporting Information

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article:

Appendix S1. Description of the PubMed search strategy
Appendix S2. Quality assessment of the reviewed articles
Appendix S3. Systematic review of 131 studies investigating associations between geographic life environments and cardiometabolic risk factors, adjusted for at least one socio-economic characteristic

Appendix S4. Systematic review of 131 studies investigating associations between geographic life environments and cardiometabolic risk factors, adjusted for at least one socio-economic characteristic (full details reported in Online Appendix S3)

Appendix S5. Detailed lists of studies presenting specific characteristics

Appendix S6. Types of individual variables analysed as modifiers (Mo) or mediators (Me) of the environmental effects on cardiometabolic risk factors in the 131 studies reviewed

Please note: Wiley-Blackwell is not responsible for the content or functionality of any supporting materials supplied by the authors. Any queries (other than missing material) should be directed to the corresponding author for the article.

Appendices

ONLINE APPENDIX 1 Description of the PubMed search strategy

PubMed search based on MeSH keywords and relevant word titles

The PubMed search was conducted in two steps. In a first step, different equations using MeSH keywords were combined (resulting in a search performed both in the MeSH keywords and in the abstract). In a second step, we performed a search of different words (MeSH keywords or not) in the titles of the articles.

A. The following equations were *entered directly in the PubMed search window*, limiting the search to English language and publications between 1985/10/01 and 2009/11/01.

Equations:

A.1 – Combination of MeSH terms related to environmental issues:

```
"Environment"[Mesh : NoExp] OR "Environment Design"[Mesh:NoExp] "Residence  
Characteristics"[Mesh:NoExp] OR "Small-Area Analysis"[Mesh:NoExp] OR "Social  
Environment"[Mesh:NoExp]
```

A.2 – Combination of MeSH terms related to cardiometabolic risk factors (CMRFs):

```
"Abdomen"[Mesh : NoExp] OR "Adiposity"[Mesh:NoExp] OR "Body mass  
index"[Mesh:NoExp] OR "Body weight"[Mesh:NoExp] OR "Obesity"[Mesh:NoExp] OR  
"Overweight"[Mesh:NoExp] OR "Weight gain"[Mesh:NoExp] OR "Blood  
pressure"[Mesh:NoExp] OR "Cholesterol"[Mesh:NoExp] OR "Diabetes  
Mellitus"[Mesh:NoExp] OR "Dyslipidemias"[Mesh:NoExp] OR  
"Hypercholesterolemia"[Mesh:NoExp] OR "Hypertension"[Mesh:NoExp] OR  
"Hypertriglyceridemia"[Mesh:NoExp] OR "Metabolic Diseases"[Mesh:NoExp] OR  
"Metabolic Syndrome X"[Mesh:NoExp]
```

In the “History” field of PubMed, equations A.1 and A.2 were combined with the AND tool, allowing us to retrieve 814 results.

B. In the second step, we used PubMed to identify the presence of specific words in the titles of the articles, specifying the English language and the same dates as above:

Example: Environment*[TI] AND English [LA] AND 1985/10:2009/11 [dp]

Equations:

B.1 – Combination of environmental terms:

Environment* OR Environment Design OR Residence Characteristics OR Small-Area
Analysis OR Social Environment OR Place* OR Census tracts OR Community OR
Neighborhood* OR Neighbourhood* OR Area* OR Geographic OR Context*

B.2 – Combination of CMRF terms

Abdomen OR Adiposity OR Body mass index OR BMI OR Body weight OR weight OR
energy balance OR Obesity OR Overweight* OR Weight gain OR Blood pressure OR
Cholesterol OR Diabetes Mellitus OR Dyslipidemia* OR Hypercholesterolemia* OR
Hypertension OR Hypertriglyceridemia* OR Metabolic diseases OR Metabolic syndrome
OR risk factors OR insulin resistance

Then, in the “History” field, equations B.1 and B.2 were combined using AND.

This second step allowed us to retrieve 4667 articles.

The final screening base was constructed by merging the results from step A (814 results) and step B (4667 results) using EndNote9. After excluding doubles, 5357 articles were available for the review.

After screening these abstracts and the references and citations of the selected articles, 131 articles were included in our review. Based on our *a priori* knowledge, we had identified 45 studies on environmental exposures and CMRFs before performing the review, all of which were retrieved with our search protocol.

ONLINE APPENDIX 2 Quality assessment of the reviewed articles

Inspired by the quality assessment scoring from the Task Force on Community Preventive Services (1), we created a specific quality score for articles dealing with associations between environmental exposures and CMRFs. All of the criteria considered in our quality score are listed in the Online Appendix Table at the end of the present Appendix. We distinguished between criteria related to the design of studies, to the measurement of the outcome variables and environmental exposures, and to the analysis of the data. The last column of the Table provides the scoring rules that have been applied for each of the criteria. The final score of each study was derived by summing the points obtained for each criterion.

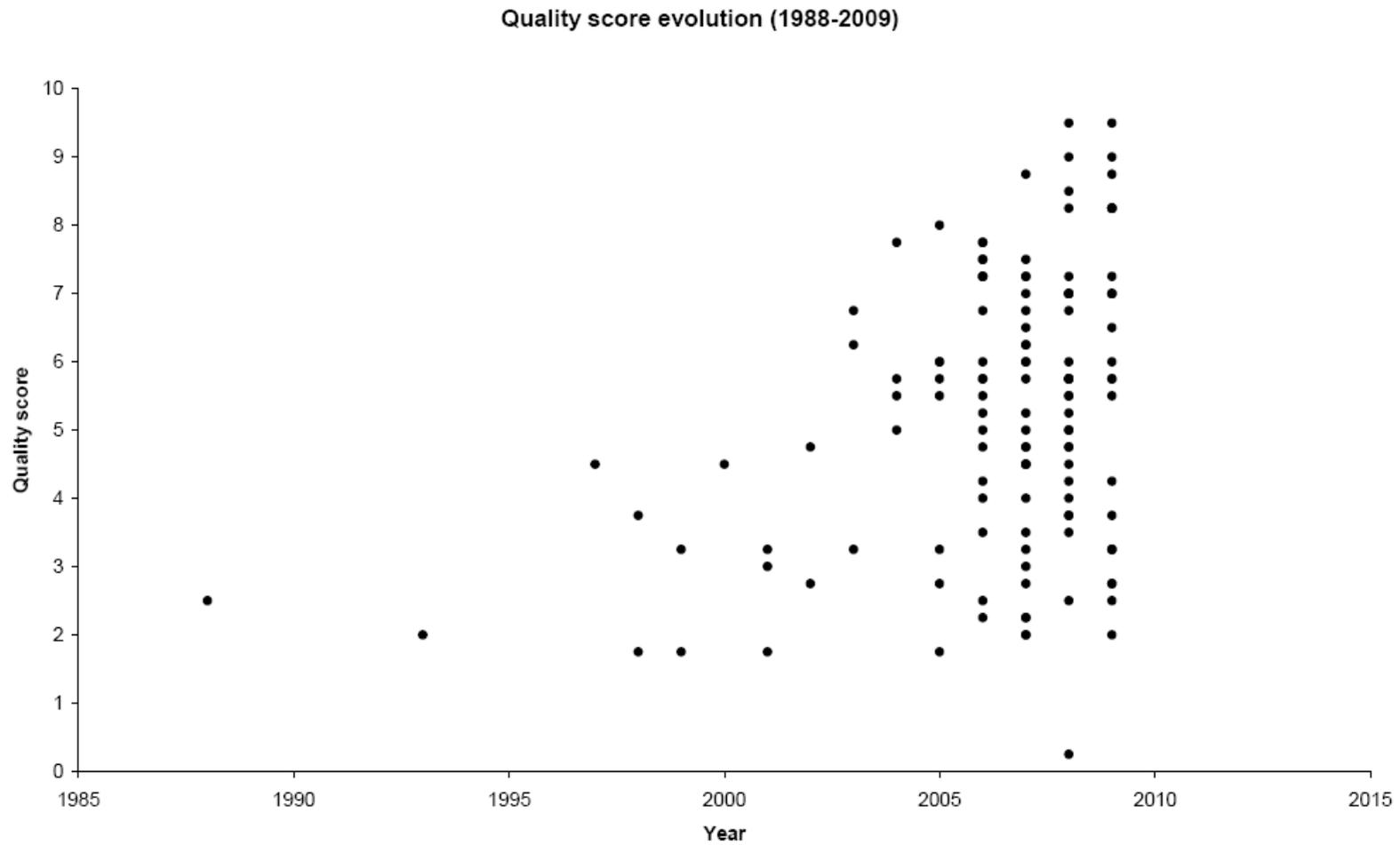
Overall, mean quality score was 5.2. The minimum and maximum were 0.2 and 9.5. There was an overall increase in the quality score of the studies between 1985 and 2009. For example, mean quality score was 3.0 for studies between 1985 and 2000, 4.7 for studies between 2001 and 2005, and 5.5 for studies between 2006 and 2009. The Online Appendix Figure provided at the end of the present appendix also illustrates this increase in the quality of studies over time.

Reference

1 Zaza S, Wright-De Agüero LK, Briss PA, Truman BI, Hopkins DP, Hennessy MH, *et al.* Data collection instrument and procedure for systematic reviews in the Guide to Community Preventive Services. Task Force on Community Preventive Services. *Am J Prev Med.* 2000; 18: 44-74.

Table 1. Quality score criteria and weights.			
Quality issues		Extracted characteristics	Points
Study design		Longitudinal or cross-sectional design	1 or 0
		Sample size (<1000, 1000-10000, 10000-100000, >100000)	0, 0.25, 0.75, or 1
Measurement	Outcome variable	Number of different CMRFs (1, 2, 3, 4, or 5) considered	0, 0.25, 0.50, 0.75, 1
		Outcome both as a categorical and a continuous variable	1 or 0
		Measured or self-reported outcome	1 or 0
	Environmental exposures	Use of ego-centered areas or only administrative measures	1 or 0
		Ego-centered areas based on the street network or on circular buffers	1 or 0
		Area size was reported	1 or 0
		At least one environmental variable measured by GIS	1 or 0
		At least one environmental variable measured through the econometric approach	1 or 0
		At least one environmental variable measured by trained observers or experts	1 or 0
		Types of environments considered (residence, other environments, or both)	0.25, 0.25 or 1
		Number of categories of exposures (1, 2, 3, or 4)	0, 0.25, 0.75, 1
		Number of environmental dimensions (subcategories: 1-2, 3-5, or more)	0, 0.5, 1
		Number of individual socioeconomic variables (1, 2-3, or more)	0, 0.5, 1
Data analysis		Adjustment for childhood socioeconomic status	1 or 0
		Adjustment for NSEP	1 or 0
		Models adjusting for clustering	1 or 0
		Modification analysis	1 or 0
		Number of categories of modifiers considered (1, 2, 3, or 4)	0, 0.25, 0.75, or 1
		Mediation analysis	1 or 0
		Number of categories of mediators considered (1, 2, 3, or 4)	0, 0.25, 0.75, or 1
		Analyses of selective migration	1 or 0

Online Appendix Figure. Progression of the quality of studies over time (each dot on the Figure may represent several studies)



Les appendices 3, 4 et 5 n'ont pas été insérés dans ce manuscrit dans le but d'alléger la lecture de ce document. Ces documents, comme les autres appendices, sont des supports supplémentaires d'information, néanmoins ne sont pas indispensables à la compréhension de ce travail de revue.

Pour information, l'appendice 3 est un tableau d'une quarantaine de pages qui contient toutes les informations extraites des 131 articles analysés. L'appendice 4 est le résumé de l'appendice 3 et comprend une dizaine de pages. Quant à l'appendice 5, il s'agit d'un complément méthodologique et bibliographique qui n'a pas pu être inséré dans l'article à cause du nombre restreint de mots consacrés par le journal pour la publication imprimée. De ce fait, les appendices 3, 4 et 5 sont disponibles en ligne sur le lien suivant : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-789X.2010.00726.x/supinfo>.

ONLINE APPENDIX 6 Types of individual variables analyzed as modifiers (Mo) or mediators (Me) of the environmental effects on CMRFs in the 131 studies reviewed

	Obesity		Hypertension		Diabetes		Dyslipidemia		Metabolic Syndrome	
	Mo	Me	Mo	Me	Mo	Me	Mo	Me	Mo	Me
<i>Individual variables</i>	36	13	11	1	3	3	1	0	2	0
<i>Sociodemographic</i>	30	0	9	0	3	0	1	0	2	0
Age	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Gender	15	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Ethnicity	15	0	2	0	1	0	0	0	1	0
Socioeconomic status	21	0	5	0	3	0	1	0	1	0
Length of residence / mobility	4	0	3	0	2	0	0	0	0	0
Type of residence	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Examination period	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Place of birth	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mother's work time	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Measurement place	0	0	3	0	1	0	1	0	0	0
<i>Clinical / biological / health</i>	2	1	2	1	1	3	0	0	0	0
<i>Health Behavior</i>	1	13	2	0	0	2	0	0	0	0
Physical activity	1	13	2	0	0	2	0	0	0	0
Dietary intake	3	6	0	0	0	2	0	0	0	0
Screen time	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Smoking	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Financial chronic stress	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Psychosocial</i>	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Contextual variables</i>	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	39/106	17/106	11/27	1/27	3/9	3/9	1/8	0/8	2/3	0/3

CHAPITRE 2

ELEMENTS GENERAUX DE METHODE

2.1. LES BASES DE DONNEES UTILISEES

2.1.1. Les données individuelles

Les analyses empiriques réalisées dans le cadre de cette thèse se sont appuyées sur les données de l'Etude de cohorte RECORD (Residential Environment and CORonary heart Disease) (18, 33).

L'Etude RECORD

Le contexte et les objectifs

Dans un pays comme la France où les inégalités sociales ont un niveau considéré comme intermédiaire⁹, les inquiétudes quant aux répercussions de ces inégalités sur l'état de santé des populations vont en augmentant. Cela est le cas dans la région Ile-de-France en particulier car même s'il s'agit de la région la plus riche de France, elle est aussi celle où les inégalités socio-environnementales sont les plus fortes (1).

Après diverses études conduites en Amérique et en Europe du Nord sur les disparités sociales de santé, ajoutées à la situation francilienne d'inégalités sociales, et au manque

⁹ Niveau intermédiaire par rapport à des pays comme le Brésil, niveau d'inégalités fort, et le Japon, niveau faible.

d'études sur le sujet en France, l'Etude RECORD a été conçue pour se consacrer à ce sujet. Son objectif principal est d'étudier les disparités de santé qui existent au sein de la région Ile-de-France, avec un intérêt particulier pour les différences observées entre quartiers favorisés et quartiers défavorisés socioéconomiquement.

En termes de variables sanitaires, l'étude s'intéresse principalement aux maladies coronaires et à leurs facteurs de risque comportementaux, cliniques et biologiques (notamment l'activité physique, la consommation de tabac, l'obésité, l'hypertension artérielle, le cholestérol, etc.). Elle étudie également les comportements de recours aux soins des personnes, en matière de prévention et de traitement des facteurs de risque cardiovasculaires tels que l'hypertension. Enfin, au-delà de la description des disparités de santé entre quartiers, l'objectif central de l'étude est de comprendre par quels mécanismes les environnements géographiques de vie influencent la santé.

Le territoire d'étude

Une attention particulière a été donnée aux territoires d'étude sélectionnés. Une présélection a été effectuée par les responsables de l'étude afin d'assurer un vaste panel socioéconomique de communes¹⁰, à partir de la liste des codes postaux de résidence des personnes venues au Centre d'Investigations Préventives et Cliniques (IPC) en 2006 (avant le début de l'étude). Il a ainsi été possible de sélectionner les codes postaux d'au moins 15000 habitants au recensement de 1999 qui avaient fourni les effectifs de patients les plus importants au Centre IPC en 2006. Lors de cette sélection, les codes postaux aux revenus médians les plus faibles ont été surreprésentés.

L'échantillon de communes sélectionnées comprend d'une part des communes défavorisées, comme Sarcelles ou Mantes-la-Jolie, et d'autre part des communes favorisées, comme Versailles ou Neuilly-sur-Seine. Par ailleurs, l'échantillon comprend

¹⁰ Il s'agit de la plus petite subdivision administrative française.

des territoires très densément urbanisés et des territoires moins urbanisés. Au total, 1915 quartiers¹¹ dans 112 communes ont été sélectionnés, garantissant une grande diversité de situations sociales et territoriales dans l'échantillon, sans laquelle il ne serait pas possible de s'intéresser aux effets des environnements géographiques de vie sur la santé.

Le recrutement des participants

Le recrutement des 7290 participants inclus dans l'Etude RECORD s'est déroulé entre mars 2007 et février 2008 dans le cadre des Examens Périodiques de Santé de la Sécurité Sociale dans quatre sites du Centre IPC de la région Ile-de-France (ceux localisés à Paris, Argenteuil, Trappes et Mantes-la-Jolie).

Les critères d'inclusion suivants ont été spécifiés : 1) les participants devaient avoir entre 30 et 79 ans au moment de l'examen ; 2) ils devaient résider dans l'une des 112 communes sélectionnées a priori ; 3) les participants devaient être en mesure de répondre par eux-mêmes (ou avec une aide minimale) au questionnaire de l'étude proposé en langue française. Lorsque les individus remplissaient ces trois conditions d'inclusion, il leur a été proposé de participer à l'Etude RECORD. Parmi les personnes éligibles sur la base de l'âge et du lieu de résidence, 10,9% ont été exclues du fait de leur incapacité à répondre à un questionnaire auto-administré en français. Au total, 83,6% des personnes invitées à participer à l'étude ont complété le protocole de collecte des données. Les enquêteurs de l'étude ont été spécifiquement formés pour expliquer le mieux possible le principe de l'étude aux personnes sélectionnées. Toutes les personnes qui ont accepté de participer à l'étude ont signé un formulaire de consentement.

¹¹ Ces quartiers ont été identifiés grâce aux codes postaux et correspondent au découpage géographique infra-communal appelé IRIS qui ont été réalisés par l'INSEE.

Les données collectées

Une grande quantité de données d'ordre biologique, médical, socio-administratif et physiologique ont été recueillies, lors du passage des participants au Centre IPC. Les données cliniques et biologiques ont été recueillies lors d'examens et comprenaient un bilan biologique¹², des mesures de tension artérielle, un électrocardiogramme, la spirométrie, un examen dentaire, un visiotest et des mesures anthropométriques (notamment poids, taille et tour de taille). D'autres données ont été obtenues à partir de questionnaires, comme les expositions professionnelles, le niveau d'activité physique pratiqué, la consommation d'alcool et de tabac, les antécédents personnels et familiaux, l'état de santé actuel et les traitements médicaux reçus, le statut d'emploi, la profession, le niveau d'études, le type de couverture sociale, le statut d'occupation du logement, le nombre d'enfants, la présence de difficultés financières, de problèmes d'accès aux soins, les activités récréatives, le soutien social, etc.

Les participants ont, par ailleurs, répondu à un questionnaire spécifique à l'Etude RECORD concernant leur statut socioéconomique, leurs connaissances sur la santé cardiovasculaire, leurs perceptions et attitudes par rapport à la santé, leur niveau d'activité physique et leur vécu au sein de leur quartier (attachement au quartier, sentiment d'appartenance, opinions au sujet du quartier, réputation du quartier, insertion sociale au sein du quartier, activités associatives, confiance-méfiance et hostilité-bienveillance par rapport aux voisins, soutien social de la part du voisinage, impact du quartier sur le bien-être psychologique). L'ensemble du protocole de recueil de données a été approuvé au préalable par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

¹² Celui-ci a été réalisé après 12 heures de jeûne et comprenait les mesures suivantes : hémogramme, urée, créatininémie, glycémie, potassium, cholestérolémie, triglycérides, aspartate aminotransférase (ASAT), gamma glutamyl transferases (GT), albuminurie, glycosurie, hématurie, etc.

2.1.2. Les données environnementales

Les données environnementales ont été obtenues auprès des partenaires de l'Etude RECORD, principalement l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) et l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU) d'Ile-de-France. Les bases de données environnementales obtenues auprès de ces organismes ont pu être appariées avec les adresses résidentielles des participants recueillies lors des examens au Centre IPC.

Avec le soutien de l'INSEE, l'ensemble des adresses résidentielles des participants a été géocolocalisé à l'aide de l'application GEOLOC. L'avantage d'un recours à cette application est qu'elle permet d'attribuer les adresses à des zonages de types pâtés de maison ou petits quartiers (îlots et IRIS¹³) de façon beaucoup plus fiable que les procédures classiques de géocodage qui attribuent directement des coordonnées spatiales aux adresses. Ceci résulte du fait que cette application est adossée aux bases géographiques de l'INSEE. En plus de ces codes de zone, l'application GEOLOC permet aussi d'attribuer aux adresses un code correspondant à la voie et des coordonnées spatiales (x, y). Au total, l'ensemble de ces opérations a permis à l'équipe RECORD de géocoder 100% des lieux de résidence des participants de l'étude.

A partir de cette localisation précise des participants et à l'aide des différentes données environnementales qui leur ont été appariées, il a été possible de conduire des analyses précises sur leur quartier résidentiel et ses effets. En suivant différentes approches de délimitation des quartiers résidentiels, nous avons pu mesurer un grand nombre de facteurs relatifs à l'environnement sociodémographique, physique, social et lié à la disponibilité de services.

¹³ L'IRIS est un découpage géographique infra-communal réalisé par l'INSEE. Il permet une partition du territoire de ces communes en « quartiers ». La population des IRIS est de l'ordre de 2000 habitants.

La mesure des variables environnementales

Les variables environnementales utilisées dans le cadre de cette thèse ont été obtenues à l'aide d'un Système d'Informations Géographiques (SIG). Le SIG est un outil informatique qui est capable de collecter, de combiner, d'organiser, d'utiliser et de présenter graphiquement des données spatialement référencées (2, 35). C'est à l'aide de cet outil que nous avons pu définir les quartiers de résidence des participants de l'Etude RECORD, apparier les données environnementales venant de différentes bases, et ainsi obtenir les mesures d'expositions appropriées pour chaque dimension environnementale traitée (socioéconomique, physique, service et sociale).

Au vu des données disponibles au sein de l'Etude RECORD, les quartiers de résidence des participants ont pu être déterminés à différentes échelles géographiques. En utilisant l'adresse résidentielle de chaque participant comme point central, nous avons quantifié les diverses caractéristiques environnementales dans un rayon circulaire qui variait de 100 à 10000 mètres autour des domiciles (10). Ces variables nous ont permis, d'ailleurs, de conduire des analyses de sensibilité sur les forces d'association qui pouvaient être observées, en utilisant différentes échelles de définition des quartiers lors des analyses.

Les mesures environnementales utilisées étaient ainsi de type « individu-centré ». Ces mesures sont basées sur la notion de quartier comme un environnement proche et qui contient des caractéristiques environnementales avec lesquelles nous sommes en contact quotidiennement. C'est ainsi, qu'au sein de chaque quartier on peut être exposé à un certain nombre de facteurs (2). L'approche « individu-centrée » a donc l'avantage de reproduire le plus fidèlement possible les expositions qu'on peut avoir au sein de son environnement résidentiel, car la localisation exacte du domicile est toujours au centre de la zone (10, 50). Cette approche diffère ainsi de l'utilisation de découpages géographiques prédéterminés, comme les zonages administratifs (par exemple, le découpage des communes, des TRIRIS¹⁴ ou des IRIS), pour lesquels la mesure de

¹⁴ Un TRIRIS est un découpage géographique intra-communal réalisé par l'INSEE qui correspond au regroupement de trois IRIS.

l'exposition environnementale est moins performante car celle-ci reste la même, par exemple, pour deux personnes qui habitent à des endroits différents d'un même TRIRIS (49).

En plus du SIG, une méthode de mesure particulière a été mise en œuvre pour les variables environnementales caractérisant les aspects sociaux des quartiers, comme la cohésion sociale ou le sentiment d'insécurité. Pour mesurer ces aspects, nous avons eu recours à des méthodes dites écométriques. L'approche écométrique consiste à obtenir des variables environnementales à partir de perceptions individuelles. Pour y parvenir, nous avons utilisé les perceptions recueillies grâce aux questionnaires de l'Etude RECORD, et nous avons agrégé les perceptions des résidents d'un même quartier à l'aide de modèles statistiques adaptés (18).

2.2. LES ANALYSES STATISTIQUES

2.2.1. Les modèles statistiques

Les analyses statistiques conduites dans le cadre de cette thèse ont été réalisées à l'aide des modèles de régression multiniveaux. Les modèles multiniveaux sont arrivés dans le champ de l'épidémiologie sociale au début des années 1990 dans le cadre des études des effets environnementaux sur la santé. Depuis, ils ont été utilisés par de nombreuses études et sont encore aujourd'hui les modèles les plus utilisés pour estimer les effets environnementaux lorsque les individus sont groupés d'une manière particulière dans l'espace, dans des quartiers ou communes de résidence (15, 17).

Au vu de la distribution géographique des participants de l'Etude RECORD, les analyses multiniveaux nous ont semblé adaptées puisqu'elles nous permettent de tenir compte de la structure hiérarchique des données (individus regroupés au sein de zones géographiques) lors des procédures d'estimation des paramètres. Ceci permet une estimation des écarts-types et des forces d'association qui prennent en compte la

corrélation intra-zone des variables réponses étudiées. Par ailleurs, l'utilisation de ces modèles permet de déterminer la corrélation intra-zone de la variable réponse, qui peut être utile à l'interprétation des associations entre les facteurs environnementaux et les variables de santé (15, 17). Dans le cadre de nos analyses, nous avons donc estimé des modèles multiniveaux dans lesquels les individus étaient groupés par TRIRIS.

Malgré les différentes méthodes utilisées dans nos analyses, les variables réponse, l'IMC et le TT, ont toujours été analysées sous forme de variables continues. Ce choix se justifie d'un point de vue méthodologique. Dans ces analyses, nous avons voulu prendre en compte toutes les variations pondérales existant dans les données, et pas seulement celles autour des seuils déterminés par l'OMS, comme c'est le cas quand des variables binaires comme l'obésité sont étudiées. D'un point de vue statistique, l'estimation de modèles multiniveaux avec des variables réponse continues permet une meilleure appréciation des variances inter et intra-zones. Par ailleurs, des analyses de sensibilité ont été réalisées à l'aide de modèles de régression par quantile afin de voir l'impact de ce choix sur nos analyses.

Toutes nos analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS 9.2.

2.2.2. Les méthodes d'appariement

Pour atteindre nos objectifs méthodologiques, nous avons utilisé deux méthodes d'appariement différentes : l'appariement sur le score de propension et l'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier.

L'appariement sur le score de propension

Afin de minimiser le problème d'inférences « non soutenues » par les données (« off-support inferences ») décrit précédemment, nous avons utilisé l'approche d'appariement

sur le score de propension à être exposé, qui fait l'objet de l'article présenté au chapitre 3.

De façon pratique, nous avons commencé par estimer un modèle logistique afin d'obtenir la propension de chaque individu, en fonction de certaines caractéristiques individuelles préalablement sélectionnées, à résider dans un quartier « exposé ». L'exposition étudiée dans ces analyses étant le niveau de défaveur socioéconomique du quartier de résidence, la probabilité prédite estimée par le modèle logistique était celle de résider dans un quartier défavorisé socioéconomiquement. Afin d'obtenir des estimations pour chaque catégorie de niveau socioéconomique environnemental, nous avons comparé à chaque fois deux catégories contrastées du facteur environnemental étudié.

Pour ce faire, nous avons divisé la variable environnementale étudiée en quartiles, le premier et le quatrième correspondant aux niveaux les plus contrastés socioéconomiquement parlant, le plus faible et le plus élevé respectivement. Nous avons étudié tour à tour les quartiles suivants : le premier et le quatrième, le deuxième et le quatrième et le troisième et le quatrième.

Partant de ces trois sous-échantillons obtenus à partir du regroupement de certains quartiles, nous avons procédé à l'appariement par tirage aléatoire d'individus provenant de chacun des deux groupes d'exposition, de telle sorte que ces deux individus aient un score de propension identique ou presque à être exposés. Dans les trois sous-bases de données résultantes, les individus retenus dans les quartiers exposés et dans les quartiers non-exposés avaient ainsi une propension identique à résider dans un quartier exposé (sur la base des seules caractéristiques individuelles prises en compte dans le modèle). De ce fait, les associations en découlant sont basées sur des participants « échangeables » et ne sont pas fondées sur des extrapolations excessives. Cela veut dire que tous les scénarios de comparaison examinés par le modèle existent dans les données.

Enfin, nous avons estimé l'effet ajusté du niveau socioéconomique environnemental à l'aide de modèles multiniveaux classiques dans les trois sous-échantillons « échangeables » obtenus par l'appariement sur le score de propension.

L'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier

Afin de séparer les effets des différentes variables fortement corrélées relatives aux environnements physiques, sociaux et de services, nous avons réalisé des appariements sur une caractéristique spécifique du quartier, ce qui fait l'objet de l'article présenté au chapitre 4.

Pour mieux comprendre cette méthode, supposons deux variables environnementales données A et B très corrélées entre elles. Le principe de cette méthode d'appariement repose sur l'estimation de l'effet de la variable A au sein de paires d'individus ayant des expositions semblables pour la variable B.

Tout d'abord, pour permettre l'ajustement sur les variables socioéconomiques individuelles et environnementales, nous avons calculé un score de risque, attribuant ainsi à chaque individu une valeur correspondant à l'influence des aspects socioéconomiques sur l'IMC ou sur le TT. Ensuite, nous avons trié les participants en fonction de leur valeur pour la variable environnementale B. Ce tri a permis l'appariement des individus en fonction de leur ordre d'apparition dans la base (post-tri), et donc la création de paires de participants ayant des valeurs semblables pour la variable B. Dès lors, nous avons calculé les différences au sein de chaque paire pour toutes les variables à inclure dans les modèles finaux, la variable à expliquer (l'IMC ou le TT) et les variables explicatives (le score de risque socioéconomique et la variable environnementale A). Enfin, nous avons estimé nos modèles finaux sur cette nouvelle base de données où chaque observation correspond aux différences obtenues au sein des paires d'individus.

Afin d'assurer la stabilité des estimations obtenues, nous avons généré aléatoirement 500 combinaisons différentes de paires de participants ayant des valeurs comparables

pour la variable environnementale B. Pour ce faire, les participants avaient été préalablement classés par bloc de 10 observations ayant des valeurs proches pour la variable B, et nous avons généré de façon aléatoire des paires d'observations qui provenaient à chaque fois du même bloc. A l'issue des 500 estimations, nous avons rapporté les valeurs médianes des coefficients estimés et les 2,5^{ème} et 97,5^{ème} percentiles comme intervalles de crédibilité.

CHAPITRE 3

LES RELATIONS ENTRE LE NIVEAU SOCIO- ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ET LES INDICATEURS D'OBESITE

3.1. PRESENTATION DE L'ARTICLE

De nombreuses études épidémiologiques ont constaté que les personnes présentant une accumulation excessive de graisses corporelles appartiennent le plus souvent aux classes socioéconomiques défavorisées et aux quartiers défavorisés socioéconomiquement. Ces personnes seraient ainsi doublement sujettes à la prise de poids, en raison de cette double influence, individuelle et environnementale.

Or, une question en termes de modélisation d'effets environnementaux à partir d'approches de régression classiques est de savoir si ces effets peuvent être estimés après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel sans que les modèles de régression n'aient recours à des extrapolations excessives. Autrement dit, il s'agit de voir s'il existe réellement des personnes qui habitent dans des quartiers socioéconomiquement défavorisés mais qui ont un niveau socioéconomique suffisamment élevé pour habiter un quartier favorisé. Si de telles personnes n'existent pas dans notre base de données, les estimations des modèles seront basées sur un certain nombre de « cases vides » lors de la procédure d'estimation des paramètres et les résultats qui en découlent seront fondés sur des extrapolations abusives des modèles de régression. En effet, les individus qui résident dans des quartiers socioéconomiquement défavorisés ont une propension très faible à habiter dans un

quartier socioéconomiquement favorisé, et réciproquement, conduisant à une non-échangeabilité des individus entre groupes d'expositions environnementales contrastés.

C'est pour cette raison que nous avons examiné dans le présent article s'il était possible d'estimer les effets environnementaux socioéconomiques après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel, sans que les modèles de régression n'aient recours à des extrapolations excessives.

Les indicateurs socioéconomiques pris en compte dans ces analyses ont été : le niveau d'instruction moyen, le niveau de revenus médian et les prix immobiliers pratiqués dans le quartier, déterminés comme des mesures de type « individus-centré ». L'IMC et le TT ont été considérés sous forme continue.

La modélisation des effets socioéconomiques environnementaux a été tout d'abord réalisée au moyen de modèles multiniveaux classiques à partir des données de l'ensemble de l'échantillon. Par la suite, afin de vérifier si les estimations obtenues par ces modèles n'étaient pas basées sur des extrapolations excessives, autrement dit s'il y avait suffisamment de données (absence de « cases vides ») dans notre base pour estimer les effets environnementaux socioéconomiques après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel, nous avons eu recours à l'approche d'appariement sur le score de propension. Le score de propension ou la probabilité d'être exposé à un environnement socioéconomique défavorable a été calculé sur la base de certaines caractéristiques individuelles. Cette approche d'appariement permet de voir si les associations identifiées à l'aide des modèles classiques persistent lorsque seules des personnes ayant une propension similaire à être exposé aux facteurs environnementaux d'intérêt sont prises en compte dans les analyses. Par ailleurs, cette approche nous a permis d'apprécier le pourcentage de réduction de la taille des échantillons d'analyse lorsque l'on se restreint aux individus échangeables en fonction de leurs caractéristiques individuelles.

Les résultats de cette étude ont montré que les trois mesures de l'environnement socioéconomique testées étaient négativement associées aux deux indicateurs

anthropométriques étudiés. Les associations les plus fortes ont été observées avec le niveau d'instruction du quartier dans des zones circulaires de 500 mètres de rayon autour de la résidence des participants. Par ailleurs, les associations les plus fortes ont été observées pour les femmes. L'appariement sur le score de propension a mis en évidence la présence d'un chevauchement dans la probabilité d'être exposé à un environnement socioéconomiquement défavorable, pour les individus qui résidaient réellement dans des quartiers favorisés et défavorisés. En comparant les échantillons d'analyse de l'approche classique avec ceux post-appariement, nous avons observé des réductions de taille d'échantillon de 17 à 59%. Ces pourcentages de réduction, interprétés comme un indicateur du niveau de ségrégation socio-spatiale de la zone d'étude, montrent que ce territoire présentait un niveau de ségrégation intermédiaire comparé à d'autres pays très socio-spatialement ségrégués comme les Etats-Unis ou le Brésil, en opposition à des pays comme la Suède. Au final, les analyses conduites parmi les résidents de quartiers favorisés et défavorisés ayant la même probabilité d'exposition à un quartier défavorisé sur la base de leurs caractéristiques individuelles (dits échangeables) ont confirmé les résultats obtenus préalablement à partir de la population d'étude totale.

Le fait que nous disposions d'assez de participants dans chacune des cellules du tableau de contingence sous-jacent aux analyses pour estimer les effets socioéconomiques de l'environnement ajustés sur le niveau socioéconomique individuel est peut-être spécifique au contexte français. Il est donc nécessaire de conduire des études similaires sur d'autres territoires d'étude, notamment ceux ayant des niveaux de ségrégation socio-spatiale plus importants.

Pour conclure, cette étude empirique nous a permis de mettre en évidence que les environnements résidentiels socioéconomiquement défavorables sont associés à des niveaux d'IMC et de TT plus élevés après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel, et que ces résultats ne sont pas basés sur des extrapolations excessives des modèles de régression.

L'intégralité de l'article publiée dans *Epidemiology* n'est pas rapportée dans cette version.

CHAPITRE 4

LES RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, SOCIALES ET LIEES AUX SERVICES DE L'ENVIRONNEMENT ET LES INDICATEURS D'OBESITE

4.1. PRESENTATION DE L'ARTICLE

Dans ce chapitre, nous présentons le travail que nous avons réalisé pour mieux comprendre les relations qui existent entre les différents aspects de l'environnement de résidence et les niveaux d'IMC et de TT, au-delà des caractéristiques socioéconomiques. Cet article fait donc suite à l'article précédent, exclusivement focalisé sur les aspects socioéconomiques, et s'intéresse à d'autres aspects de l'environnement résidentiel. Au-delà de la modélisation de ces effets environnementaux, la question-clef de cet article a été d'examiner s'il était possible de séparer les effets des différents facteurs environnementaux sur l'IMC et sur le TT.

Identifier des caractéristiques particulières de l'environnement, notamment les caractéristiques physiques et celles liées à la disponibilité de services, qui sont associées à la corpulence et à l'accumulation de graisses abdominales pourrait apporter des éléments pour la conception d'interventions de santé publique efficaces. Néanmoins, démêler les influences des différentes dimensions de l'environnement implique des difficultés méthodologiques importantes. Ces dernières découlent des niveaux de corrélation élevés observés entre la plupart des variables relatives à l'environnement physique et à l'environnement de services. Par exemple, les quartiers où le réseau de rues est fortement connecté, caractéristique présumée encourageante pour la pratique d'une activité physique, sont en même temps ceux où la densité de restaurants fast-food

est élevée. Il est donc capital d'examiner s'il est possible de séparer les effets potentiels de ces différents facteurs qui renvoient à des mécanismes distincts d'influence de l'environnement sur l'état pondéral, et en conséquence à des stratégies d'intervention différentes.

Pour ce faire, nous avons d'abord simultanément tenu compte de facteurs de l'environnement physique et de l'environnement de services, considérés deux à deux dans chaque modèle multiniveau. Ensuite, nous avons utilisé une méthode d'appariement innovante qui consiste à examiner si l'effet d'une caractéristique environnementale persiste lorsqu'elle est étudiée en comparant des participants exposés de façon comparable à un autre facteur environnemental. Cette méthode appelée « appariement sur une caractéristique spécifique du quartier » suit le principe de la régression logistique conditionnelle, mais appliquée à des variables réponse continues.

Les résultats obtenus dans le cadre de ces analyses ont montré qu'au-delà des caractéristiques socioéconomiques individuelles et environnementales, certaines caractéristiques de l'environnement physique et liées à la disponibilité de services étaient associées à l'IMC et au TT. Selon ces résultats, une forte proportion de la surface bâtie au sein du quartier et une forte densité de magasins de fruits et légumes et de restaurants dans l'environnement résidentiel seraient associées à des niveaux plus faibles d'IMC et de TT. Globalement, les situations d'excès de corpulence et de graisses abdominales étaient plus fréquentes dans les zones où les densités sont faibles.

Toutefois, malgré les associations observées, ni les ajustements multiples des modèles de régression, ni l'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier n'ont permis de séparer les effets de ces variables environnementales fortement corrélées entre elles. Dans ces différentes analyses, aucune variable environnementale ne demeurait systématiquement associée à l'IMC ou au TT lorsqu'examinée en concurrence avec d'autres facteurs environnementaux. Certains facteurs comme la proportion de la surface bâtie ou le nombre de magasins de fruits et légumes restaient associés au TT seulement dans certaines sous-analyses. Toutefois, même l'effet de ces variables tendait

à disparaître lorsqu'étudié simultanément avec d'autres facteurs environnementaux qui leur étaient fortement associés.

Même si nous n'avons pas été en mesure de séparer ces effets environnementaux, cela ne présume pas que ces caractéristiques environnementales ne soient pas importantes dans la compréhension du phénomène de prise de poids.

Cet article a donc mis en évidence que même si diverses caractéristiques de l'environnement résidentiel semblent être associées à la corpulence et à l'accumulation de graisses abdominales, il n'a pas été possible de séparer les effets des différentes composantes environnementales sur le phénomène, particulièrement lorsque ces facteurs renvoient à des densités qui sont très corrélées entre elles. De ce fait, il est difficile d'affirmer avec conviction, par exemple, que l'association observée entre densité de magasins de fruits et légumes et excès de graisses abdominales est due à un véritable effet causal de l'environnement alimentaire. Au-delà des effets des caractéristiques socioéconomiques individuelles et environnementales, il semble plus prudent de conclure à un effet protecteur des densités envisagées de façon globale : les prévalences des situations d'excès de corpulence et de graisses abdominales étaient plus élevées dans les quartiers où la densité du bâti et les densités de services, considérées dans l'ensemble, sont plus faibles. Il semble nécessaire que d'autres études poursuivent les recherches sur le sujet en considérant des approches alternatives, comme l'analyse par « cluster », qui tient compte de plusieurs variables environnementales en même temps pour définir des typologies de quartier.

La version intégrale de cet article publiée dans l'*American Journal of Epidemiology* n'est pas rapportée ici.

CHAPITRE 5

DISCUSSION GENERALE

Dans ce chapitre, nous dressons un bilan du travail accompli dans son ensemble, en nous focalisant, au-delà des associations estimées, sur les problèmes méthodologiques importants rencontrés lors de la modélisation des effets environnementaux sur les indicateurs d'obésité, qui n'avaient pas été étudiés dans la littérature jusqu'à présent. Plus loin dans ce chapitre, nous discutons des limites associées aux données et aux méthodes utilisées, sans oublier les innovations méthodologiques que nous avons proposées et l'intérêt de santé publique de ce sujet de recherche.

5.1. LES PRINCIPAUX RESULTATS

Au travers de la revue de littérature et des travaux empiriques conduits dans le cadre de cette thèse, nous avons observé qu'il existait des associations entre l'environnement résidentiel de vie et l'accumulation de graisses corporelles en général et dans l'Etude RECORD en particulier. En effet, dans notre premier article empirique, nous avons observé que les environnements résidentiels socioéconomiquement défavorisés étaient associés à des niveaux d'IMC et de TT plus élevés comparés à ceux observés dans les environnements socioéconomiquement favorisés, après ajustement sur les caractéristiques socioéconomiques individuelles. Par ailleurs, nous avons observé que ces associations n'étaient pas fondées sur des extrapolations excessives des modèles de régression, liées à un excès de « cases vides » lors de la procédure statistique de régression. Même si de nombreuses études dans la littérature internationale se sont

intéressées aux effets socioéconomiques environnementaux sur l'excès de poids, après ajustement sur les caractéristiques socioéconomiques individuelles, aucune d'entre elles n'avait cherché à vérifier s'il est vraiment possible d'estimer de tels effets au vu des données disponibles sur les territoires d'étude considérés. Nos résultats sont en accord avec de nombreuses études sur le sujet et corroborent ainsi notre hypothèse de départ que les résidents des environnements socioéconomiquement défavorisés sont exposés à un double risque de surcharge pondérale excessive, d'une part au niveau individuel et d'autre part au niveau environnemental. En revanche, nos résultats sont contraires à ceux de certaines études américaines qui ont indiqué qu'il était impossible de séparer les effets socioéconomiques individuels des effets environnementaux. Grâce à nos analyses recourant à un appariement sur les scores de propension, nous avons démontré empiriquement que l'effet socioéconomique environnemental était estimable après ajustement sur le niveau socioéconomique individuel sur notre territoire d'étude (38, 41-42).

Par la suite, ce travail de thèse s'est intéressé aux autres aspects environnementaux, liés aux caractéristiques physiques, sociales et de disponibilité de services. Nous avons observé que certaines caractéristiques physiques et d'autres liées à la disponibilité de services présents dans l'environnement résidentiel étaient associées aux deux indicateurs anthropométriques étudiés dans le cadre de cette thèse. Les résultats de nos analyses empiriques confirment quelques associations déjà trouvées dans la littérature entre les environnements résidentiels et les mesures d'obésité. En particulier, nous avons constaté qu'une forte concentration du bâti, de magasins de fruits et légumes et de restaurants au sein de l'environnement résidentiel était associée à des niveaux d'IMC et de TT plus faibles comparés à ceux observés pour les résidents de quartiers avec des caractéristiques opposées. Dans un second temps, nous avons étudié la possibilité de démêler les effets de ces caractéristiques environnementales très corrélées entre elles. En effet, sur notre territoire d'étude, les facteurs environnementaux dits « obésogènes » étaient généralement très corrélés entre eux, ce qui rend difficile l'étude spécifique, statistiquement parlant, de chaque effet de façon indépendante. Bien que ces fortes corrélations soient observées dans de nombreux territoires, ce problème méthodologique n'avait pas été étudié dans la littérature jusqu'à présent. Utilisant deux méthodes

distinctes pour tenter de séparer les divers effets environnementaux, nous avons montré qu'il était impossible d'y parvenir. Ni l'approche classique par ajustement multiple, ni l'approche par appariement sur une caractéristique spécifique du quartier n'ont permis d'identifier lesquels des facteurs environnementaux étaient responsables des associations observées entre densité et IMC ou TT. En réalité, les facteurs environnementaux initialement identifiés par l'approche classique (inclusion d'une seule variable environnementale dans le modèle au-delà de l'aspect socioéconomique) comme étant associés à l'IMC et au TT n'ont pas résisté à l'inclusion d'autres facteurs environnementaux dans les modèles de régression, ni aux analyses spécifiques au sein des paires de participants exposés de façon comparable à une autre caractéristique du quartier. Malgré cette impossibilité de séparer les effets, nos analyses permettent néanmoins d'attirer l'attention sur cette problématique peu abordée dans la littérature et encore sans solution évidente.

En résumé, notre idée initiale de chercher à séparer les effets des facteurs environnementaux « obésogènes » était d'apporter de l'information aux décideurs de santé publique pour mettre en place des interventions adaptées. Toutefois, ceci s'est avéré impossible étant donné l'organisation spatiale du territoire francilien. C'est pour cette raison que nous recommandons l'utilisation d'approches qui regroupent les facteurs environnementaux entre eux au sein de typologies, comme les analyses par « cluster », afin d'étudier l'action conjointe de ces facteurs (40).

5.2. LES INNOVATIONS METHODOLOGIQUES

Dans nos travaux empiriques, nous avons eu recours à deux méthodes d'appariement différentes : l'appariement sur le score de propension et l'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier. Dans le premier article empirique, présenté dans le chapitre 3 de ce manuscrit, nous avons utilisé l'approche d'appariement sur le score de propension à être exposé. Ce score utilisé depuis les années 1980 est une probabilité

d'être exposé à un certain facteur sur la base de variables sélectionnées préalablement (37, 43). Une fois le score calculé, il peut être utilisé pour appairer les individus d'un échantillon donné, permettant ainsi la réalisation d'analyses parmi des individus échangeables sur la base de leurs caractéristiques individuelles. Dans notre cas, le score de propension a été utilisé pour appairer les participants de l'Etude RECORD selon leur probabilité d'exposition à un environnement socioéconomiquement défavorable sur la base de leurs caractéristiques individuelles. Ceci nous a permis de conduire des analyses parmi des participants échangeables, autrement dit, ayant des probabilités d'exposition similaires (calculées à partir des facteurs individuels préalablement sélectionnés), mais qui appartenaient à des environnements avec des niveaux socioéconomiques différents. Cette approche permet ainsi d'assurer la présence de participants dans toutes les « cases » produites lors de l'estimation des modèles de régression. Malgré les avantages de cette méthode, un point sensible concerne le choix des variables à retenir lors de la construction des scores de propension. Dans notre cas, en suivant les recommandations de la littérature, nous avons inclus dans nos scores de propension des variables qui avaient un effet potentiel à la fois sur l'exposition environnementale et sur les indicateurs anthropométriques de l'obésité (13, 30).

Dans le deuxième article empirique, présenté dans le chapitre 4 de ce manuscrit, nous avons utilisé l'approche d'appariement sur une caractéristique spécifique du quartier. Cette technique basée sur le principe de la régression logistique conditionnelle (12) permet l'estimation d'un effet environnemental A au sein de paires de participants exposés de façon similaire à une autre caractéristique environnementale B, après avoir tenu compte des caractéristiques individuelles¹⁵. Cette méthode permet, par exemple, l'estimation de l'effet de la proportion de la surface bâtie parmi des individus ayant la même densité de restaurants dans leur quartier.

Notre hypothèse de départ était que si deux facteurs environnementaux A et B sont très fortement associés entre eux, les différences d'exposition au facteur A seront nettement

¹⁵ Ces caractéristiques ont été prises en compte à travers de l'ajustement sur un score de risque individuel préalablement calculé.

moins importantes lors de la comparaison de personnes exposées de façon similaire au facteur B, par rapport à la population totale. En conséquence, au sein des paires d'individus exposés de façon comparable au facteur B, les différences d'exposition au facteur A seront trop faibles pour qu'un effet associé à ce dernier facteur puisse être mis en évidence. En revanche, si l'effet d'un facteur environnemental A est observé en comparant des individus exposés de façon comparable à un facteur environnemental B, nous pouvons en déduire que ce facteur A est véritablement associé au phénomène de santé d'intérêt indépendamment des autres caractéristiques de l'environnement. Dès lors, cette technique permet d'apprécier, entre autres, l'existence d'associations lors de l'étude de deux expositions environnementales fortement corrélées entre elles et peut constituer ainsi un atout non négligeable à la prise de décision en santé publique.

Les inconvénients associés à cette méthode d'appariement concernent, premièrement, la spécificité des résultats obtenus qui s'appliquent seulement aux scénarios testés. Comme ces scénarios ne tiennent compte que de deux facteurs environnementaux à la fois, les résultats qui en découlent ont une portée limitée et l'analyse doit être répétée pour les différentes paires de facteurs envisagées. Deuxièmement, à partir de ces analyses nous obtenons des résultats un peu plus difficiles à interpréter car les variables réponses sont des différences calculées au sein des paires de participants.

Au vu des fortes corrélations observées entre certaines variables environnementales dans nos données, la question se pose de savoir si nous sommes réellement en mesure de séparer les effets liés aux différents facteurs environnementaux. Les fortes corrélations existant entre les facteurs environnementaux étudiés conduisent à penser qu'il est pertinent d'appréhender de façon conjointe l'effet de ces facteurs sur la corpulence et l'accumulation de graisses abdominales.

5.3. LES LIMITES ASSOCIEES

Un certain nombre d'erreurs systématiques sont probablement intervenues lors des diverses étapes de ce travail, malgré tous les efforts pour les réduire au maximum.

Tout d'abord, les résultats de notre revue de littérature, comme tout travail de ce type, sont probablement biaisés par le biais de publication (53). Il est clair que les études ayant trouvé des associations significatives entre les caractéristiques environnementales et l'obésité ont beaucoup plus de chances d'arriver à la publication dans les journaux scientifiques recensés par *Medline* que celles qui n'ont pas trouvé d'associations. Une autre source de biais potentielle pourrait provenir des méthodes de recherche bibliographique utilisées lors de notre revue systématique. Afin d'assurer un niveau méthodologique minimal des études recensées, nous avons restreint notre recherche bibliographique aux études ayant un certain nombre de critères d'inclusion comme par exemple le fait d'avoir ajusté ces analyses sur au moins un facteur socioéconomique individuel. Or, si un niveau méthodologique minimal a été assuré, les études conservées ne représentent pas toute la littérature existant sur le sujet.

La base de données de l'Etude RECORD a été un atout considérable de ce travail de thèse. Néanmoins, celle-ci présente des limites qui méritent d'être citées. Ces limites sont tout d'abord liées à la représentativité de l'échantillon, qui ne reflète pas totalement la population des communes d'origine. Cela s'explique par le fait que le recrutement des participants au Centre IPC a été réalisé sans randomisation préalable en population générale ; par les exclusions dues à l'incapacité de certaines personnes à répondre aux questionnaires auto-administrés ; et par des refus de participation à l'étude. Dû au mode de recrutement dans l'étude, les proportions de personnes ayant des états pondéraux anormaux ou des facteurs de risque d'obésité sont possiblement incorrectement supérieures ou inférieures aux valeurs réelles dans la population des communes et des âges correspondants. Plus problématique encore serait d'imaginer que les expositions environnementales et l'accumulation de masse grasse, qui constituent l'objet principal de ce travail, influent sur les chances de participation à l'étude. Un tel scénario pourrait

biaiser les associations estimées entre les caractéristiques environnementales et l'obésité (18, 33).

En ce qui concerne les analyses empiriques faites dans le cadre de cette thèse, d'autres erreurs systématiques ont pu intervenir. Des biais de mesure, par exemple, peuvent être associés aux mesures des expositions environnementales utilisées. Même si nous avons utilisé des mesures environnementales de type « individu-centré », qui sont réputées plus fidèles à la réalité que les mesures dans des zones administratives¹⁶, cela n'exclut pas complètement le risque de biais de mesure de ces expositions (19, 49). Ceci est dû au fait que ces mesures ne prennent pas en compte la mobilité des individus entre les divers types d'environnement (résidentiel, travail, loisirs), ce qui peut biaiser les mesures d'exposition des personnes aux caractéristiques environnementales qui se distinguent de l'exposition réelle subie (29). Par ailleurs, d'autres biais de mesure liés aux bases de données environnementales utilisées ont pu intervenir, car les données disponibles dans celles-ci ne correspondaient pas exactement, en termes de chronologie temporelle, à la période pendant laquelle les examens de l'Etude RECORD ont été réalisés.

Il est également important de souligner que des biais de mesure peuvent être associés aux indicateurs indirects d'adiposité, l'IMC et le TT, pris en compte dans nos analyses. Nous ne disposons toutefois pas d'indicateurs d'accumulation de graisses plus précis. Cependant, l'IMC et le TT ont tout de même été mesurés par des infirmières entraînées du Centre IPC, assurant la fiabilité des données recueillies, ce qui constitue un point fort de cette étude par rapport aux nombreuses études basées sur des données déclaratives. Par ailleurs, le fait d'avoir tenu compte du tour de taille dans nos travaux est un atout important, étant donnée sa relation particulière au risque cardiovasculaire (34).

Un problème non négligeable dans la plupart des études qui s'intéressent à l'influence de l'environnement sur les disparités d'obésité, y compris dans les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse, est le fait de ne pas avoir tenu compte du phénomène de

¹⁶ Ces zones sont les divers découpages géographiques prédéterminés au niveau des organismes nationaux, comme par exemple les zones géographiques correspondant aux codes postaux ou aux villes.

migration sélective (34). La migration sélective se traduit par le fait que des personnes ayant des caractéristiques individuelles spécifiques emménagent (volontairement ou non) dans certaines zones, celles-ci possédant elles-mêmes des caractéristiques particulières (16). La migration sélective est un phénomène connu des socio-épidémiologistes, mais rarement étudié dans les études épidémiologiques du fait du manque de données nécessaires pour traiter le phénomène.

5.4. L'INTERET DE SANTE PUBLIQUE DES TRAVAUX REALISES

A l'heure, où le « Plan Obésité » vient d'être annoncé par l'Etat Français en parallèle du Programme national nutrition santé (PNNS) 2011-2015, des arguments scientifiques chiffrés sur les relations entre les facteurs environnementaux et les états pondéraux constituent des informations non négligeables dans les débats de santé publique à venir. En effet, au-delà de l'amélioration de l'offre de soins, de la promotion du dépistage chez les jeunes et de la promotion de l'activité physique en milieu scolaire, le « Plan Obésité » se focalise sur le développement d'actions à l'égard des personnes défavorisées. Le PNNS, quant à lui, fixe des « objectifs nutritionnels »¹⁷ avec une attention particulière pour les personnes défavorisées, et propose de développer des chartes d'engagement des collectivités territoriales (46). Dans le cadre de ces interventions actuelles, d'une part auprès des personnes défavorisées et d'autre part au niveau des collectivités territoriales, nos résultats peuvent apporter des données scientifiques complémentaires pour soutenir les interventions visant non seulement les personnes socioéconomiquement défavorisées, mais aussi les résidents de zones socioéconomiquement défavorisées.

¹⁷ Ces objectifs nutritionnels concernent la réduction de la consommation de sel, de graisses et de sucre au profit des fruits et légumes.

L'intérêt d'étudier les relations entre les caractéristiques environnementales et l'obésité est multiple. D'une part, les résultats de ces études contribuent au débat public sur les inégalités sociales de santé et sur les conditions de vie des quartiers défavorisés en France. D'autre part, ces études pourraient contribuer à l'élaboration de nouvelles stratégies d'action publique visant à lever les barrières environnementales ou créer des opportunités environnementales pour un mode de vie plus sain. Les développements récents dans le champ de la santé publique soulignent l'intérêt d'actions dites « multiniveaux », qui visent à la fois à modifier l'environnement de vie et à intervenir auprès des résidents pour les encourager à tirer parti de ces modifications de l'environnement.

Les résultats de ce travail de thèse, à savoir l'existence d'un effet conjoint des niveaux socioéconomiques individuels et environnementaux mais aussi l'influence d'autres variables environnementales sur les disparités d'obésité observées dans la région Ile-de-France, peuvent peser dans les débats de santé publique actuels. Plus spécifiquement, l'identification des relations qui existent entre l'environnement résidentiel et la corpulence des habitants apporte des informations scientifiques chiffrées aux acteurs de santé publique pour peser sur les décisions concernant les projets d'aménagement du territoire favorisant des formes urbaines bénéfiques pour l'équilibre du bilan énergétique.

CONCLUSION

Face au manque d'investigations sur l'influence de l'environnement sur l'accumulation de graisses corporelles, la démarche adoptée dans ce travail de thèse visait à avancer dans la compréhension des voies par lesquelles les caractéristiques environnementales pourraient influencer la prise de poids en estimant la part d'effet relative à chaque facteur dans l'explication de ce phénomène.

Afin de répondre à notre question de recherche, nous avons tout d'abord cherché à évaluer les relations existant entre les caractéristiques socioéconomiques environnementales et deux indicateurs d'obésité. Notre objectif était de tester l'hypothèse d'un effet double des environnements socioéconomiquement défavorables d'une part et du faible niveau socioéconomique individuel d'autre part. Ce travail nous a permis de révéler, comme attendu, l'existence de cet effet double, et plus important encore, que cet effet ne résultait pas simplement d'extrapolations excessives des modèles de régression estimés.

Nous avons ensuite cherché à voir si au-delà des effets environnementaux socioéconomiques, les caractéristiques physiques, sociales et de services étaient elles aussi impliquées dans les disparités d'obésité observées sur notre zone d'étude. Notre objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle certaines caractéristiques de l'environnement influencent la prise de poids et l'accumulation de graisses abdominales, par exemple en incitant à une alimentation déséquilibrée par la proximité géographique de fast-foods au domicile, ou en décourageant d'avoir une pratique régulière d'activités sportives du fait de l'absence d'espaces verts. Ce travail a montré que certaines caractéristiques étaient effectivement négativement associées à l'IMC et au TT, comme la proportion de la surface bâtie ou la quantité de magasins de fruits et légumes et de restaurants disponibles dans le quartier. Globalement, des densités plus élevées étaient associées à des niveaux d'IMC et de TT plus faibles. Nous en sommes venus à explorer la possibilité de séparer ces effets de facteurs liés à l'environnement physique et de

services très corrélés entre eux. Ces résultats ont montré que les fortes corrélations existant entre ces variables ne permettaient pas la séparation de leurs effets, ceci étant dû à l'organisation spatiale propre à notre zone d'étude.

L'originalité et les forces de ce travail tiennent à divers facteurs : la taille de l'échantillon utilisé, la méthode de mesure des facteurs environnementaux de type « individu-centré », la prise en compte de l'accumulation des graisses abdominales et les méthodes d'appariement innovantes utilisées. En effet, aucune étude à notre connaissance ne s'est intéressée à ce jour à la problématique de l'excès de poids en mettant en œuvre ces avancées méthodologiques.

Au total, ce travail a conclu à l'existence d'un effet non-négligeable de l'environnement résidentiel de vie sur la corpulence et l'accumulation de graisses abdominales et apporte ainsi des arguments scientifiques pour la prise en compte des facteurs environnementaux dans la lutte contre l'obésité.

PERSPECTIVES

Si la démarche ordonnée que nous avons suivie dans le cadre de cette thèse nous a permis d'avancer dans l'évaluation de la contribution des expositions environnementales aux disparités d'obésité en identifiant les facteurs potentiellement impliqués, les enseignements à tirer des résultats obtenus demeurent néanmoins limités. Ceci est dû au manque d'informations sur les autres facteurs de risque individuels à même d'expliquer la vulnérabilité accrue des résidents des quartiers étudiés, notamment les aspects génétiques et les pratiques alimentaires. Il en ressort donc que même si notre étude permet d'avancer dans l'identification de certains facteurs associés aux disparités de poids observées en Ile-de-France, elle ne permet en revanche pas d'avancer dans la connaissance de l'ensemble des facteurs explicatifs de ce phénomène et ne permet pas non plus d'identifier la part de l'effet de chacun des divers facteurs environnementaux étudiés.

Les perspectives futures de l'étude des effets de l'environnement sur la prise de poids portent sur le suivi longitudinal des données individuelles et environnementales, qui n'a jamais été réalisé jusqu'à présent. Dans les études de cohorte déjà réalisées ou en cours de réalisation, c'est essentiellement l'évolution des facteurs individuels qui est prise en compte, au détriment des changements des caractéristiques environnementales et de la mobilité humaine au cours du temps. La prise en compte du phénomène de migration sélective demeure un défi capital pour les études futures. La migration sélective se doit d'être prise en compte dans les études considérant l'évolution des caractéristiques individuelles et environnementales, grâce à un suivi des changements d'adresses résidentielles. Une telle approche permettrait d'étudier les facteurs associés aux déménagements et de respecter ainsi la chronologie causale dans l'étude des effets environnementaux sur la prise de poids.

Seule une démarche à long terme intégrant les différents facteurs de risque individuels et environnementaux (à partir de la définition de typologies de quartiers) et tenant

compte de la mobilité humaine permettrait réellement d'explorer et d'élucider les mécanismes de la contribution de l'environnement résidentiel aux inégalités d'obésité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Citées dans le manuscrit

1. Agence Régional de Santé Ile-de-France (ARS Ile-de-France). Plan Strategique Régional de Santé : Eléments de contexte et principes d'action de l'ARS Ile-de-France. Disponible sur : <http://www.ars.iledefrance.sante.fr>. 2011.
2. Apparicio P, Abdelmajid M, Riva M, Shearmur R. Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues. *International Journal of Health Geographics*. 2008;7(7):1-14.
3. Basdevant A. Rapport du séminaire recherche du "Plan obésité". Obésité, santé et société : recherche et convergences. Paris2011.
4. Basdevant A, Guy-Grand B. Chapitre 1 : Définition et classification des obésités. *Médecine de l'obésité*. Paris: Médecine-Sciences Flammarion; 2004. p. 3-7.
5. Basdevant A, Guy-Grand B. Chapitre 2 : Epidémiologie de l'obésité. *Médecine de l'obésité*. Paris: Médecine-Sciences Flammarion; 2004.
6. Basdevant A, Guy-Grand B. Chapitre 5 : Origines des obésités. Paris: Médecine-Sciences Flammarion; 2004.
7. Basdevant A, Guy-Grand B. Chapitre 15 : Analyse de la composition corporelle. *Médecine de l'obésité*. Paris: Médecine-Sciences Flammarion; 2004. p. 117-24.
8. Basdevant A, Laville M, Lerebours E. Chapitre 42 : Les obésités. *Traité de nutrition clinique de l'adulte*. Paris: Médecine-Sciences Flammarion; 2001. p. 429-50.
9. Basdevant A, Ricquier D. Pour une approche scientifique de l'obésité. *Annales de l'Institut Pasteur*. Paris: Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS; 2003.

10. Billaudeau N, Oppert JM, Simon C, Charreire H, Casey R, Salze P, et al. Investigating disparities in spatial accessibility to and characteristics of sport facilities: Direction, strength, and spatial scale of associations with area income. *Health Place*. 2010 Sep 17.
11. Bout B. Rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. L'organisation de la recherche et ses perspectives en matière de prévention et de traitement de l'obésité. Disponible sur : www.senat.fr. Paris, 2010.
12. Breslow N. *Statistical Methods in Cancer Research. Volume 1: The Analysis of Case-Control Studies*. Lyon 1980.
13. Brookhart MA, Schneeweiss S, Rothman KJ, Glynn RJ, Avorn J, Sturmer T. Variable selection for propensity score models. *Am J Epidemiol*. 2006 Jun 15;163(12):1149-56.
14. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Report on self-study methods on Tuberculosis. Atlanta, 2010; Available from: <http://www.cdc.gov>.
15. Chaix B. Modélisation des effets du contexte sur la santé et le recours aux soins (Thèse de doctorat). Paris: Université Paris 6; 2004.
16. Chaix B. Geographic life environments and coronary heart disease: a literature review, theoretical contributions, methodological updates, and a research agenda. *Annu Rev Public Health*. 2009 Apr 29;30:81-105.
17. Chaix B, Chauvin P. L'apport des modèles multiniveau dans l'analyse contextuelle en épidémiologie sociale : une revue de littérature. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2002;50:489-99.
18. Chaix B, Kestens Y, Bean K, Leal C, Karusisi N, Meghrief K, et al. Cohort profile: residential and non-residential environments, individual activity spaces, and cardiovascular risk factors and diseases: the RECORD Cohort Study. *International Journal of Epidemiology* 2011;in press.

19. Chaix B, Merlo J, Evans D, Leal C, Havard S. Neighbourhoods in eco-epidemiologic research: delimiting personal exposure areas. A response to Riva, Gauvin, Apparicio and Brodeur. *Soc Sci Med*. 2009 Nov;69(9):1306-10.
20. Cutts BB, Darby KJ, Boone CG, Brewis A. City structure, obesity, and environmental justice: an integrated analysis of physical and social barriers to walkable streets and park access. *Soc Sci Med*. 2009 Nov;69(9):1314-22.
21. de Koning L, Merchant AT, Pogue J, Anand SS. Waist circumference and waist-to-hip ratio as predictors of cardiovascular events: meta-regression analysis of prospective studies. *Eur Heart J*. 2007 Apr;28(7):850-6.
22. Dente K. France adds weight to obesity research with a new institute. *Nature Medicine*. 2011;17(7):760.
23. Diez Roux AV, Mair C. Neighborhoods and health. *Ann N Y Acad Sci*. 2010 Feb;1186:125-45.
24. Egger G, Swinburn B. An "ecological" approach to the obesity pandemic. *BMJ*. 1997 Aug 23;315(7106):477-80.
25. Encyclopédie scietifique. Définition d'environnement. Available from: <http://www.techno-science.ne>.
26. Engber D. Does poor people make obese people, is it the other way round? 2009; Available from: www.slate.com
27. Garaulet M, Ortega FB, Ruiz JR, Rey-Lopez JP, Beghin L, Manios Y, et al. Short sleep duration is associated with increased obesity markers in European adolescents: effect of physical activity and dietary habits. The HELENA study. *Int J Obes (Lond)*. 2011 Jul 26.
28. Havard S. Contribution de la Pollution Atmosphérique aux Inégalités Socio-Spatiales de Santé Analyse Écologique du Risque d'Infarctus du Myocarde dans

l'Agglomération de Strasbourg (Thèse de doctorat). Rennes: Université de Rennes 1; 2008.

29. Hedman L. The Impact of Residential Mobility on Measurements of Neighbourhood Effects. *Housing Studies*. 2011;26(4):501-19.

30. Joffe MM, Rosenbaum PR. Invited commentary: propensity scores. *Am J Epidemiol*. 1999 Aug 15;150(4):327-33.

31. Kirk SF, Penney TL, McHugh TL. Characterizing the obesogenic environment: the state of the evidence with directions for future research. *Obes Rev*. 2010 Feb;11(2):109-17.

32. Kurzinger M, Salem G, Rican S, Rey J. Disparités géographiques du surpoids et de l'obésité chez les jeunes hommes en France : 1987-1996. *Cah Nutri Diét*. 2002;37(2):110-7.

33. L'Etude RECORD : Une étude sur les disparité sociales de santé. 2011; Available from: www.record-study.org.

34. Leal C, Chaix B. The influence of geographic life environments on cardiometabolic risk factors: a systematic review, a methodological assessment and a research agenda. *Obes Rev*. 2011 Mar;12(3):217-30.

35. Leslie E, Coffee N, Frank L, Owen N, Bauman A, Hugo G. Walkability of local communities: using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes. *Health Place*. 2007 Mar;13(1):111-22.

36. Litwin SE. Which Measures of Obesity Best Predict Cardiovascular Risk? *J Am Coll Cardiol* 2008;52:616-9.

37. Luellen JK, Shadish WR, Clark MH. Propensity scores: an introduction and experimental test. *Eval Rev*. 2005 Dec;29(6):530-58.

38. Messer LC, Oakes JM, Mason S. Effects of socioeconomic and racial residential segregation on preterm birth: a cautionary tale of structural confounding. *Am J Epidemiol*. 2010 Mar 15;171(6):664-73.
39. Mokdad AH, Marks JS, Stroup DF, Gerberding JL. Actual causes of death in the United States, 2000. *JAMA*. 2004 Mar 10;291(10):1238-45.
40. Norman GJ, Adams MA, Kerr J, Ryan S, Frank LD, Roesch SC. A latent profile analysis of neighborhood recreation environments in relation to adolescent physical activity, sedentary time, and obesity. *J Public Health Manag Pract*. 2010 Sep-Oct;16(5):411-9.
41. Oakes JM. The (mis)estimation of neighborhood effects: causal inference for a practicable social epidemiology. *Soc Sci Med*. 2004 May;58(10):1929-52.
42. Oakes JM. Commentary: advancing neighbourhood-effects research--selection, inferential support, and structural confounding. *Int J Epidemiol*. 2006 Jun;35(3):643-7.
43. Oakes JM, Johnson PJ. Propensity score matching methods for social epidemiology. In: Oakes JM, Kaufman JS, eds *Methods in Social Epidemiology*. San Francisco: Jossey-Bass; 2006. p. 370-92.
44. ObEpi-Roche. Enquête nationale sur le surpoids et l'obésité. Une enquête INSERM / TNS HEALTHCARE(KANTARHEALTH) / ROCHE. Paris2009.
45. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Aide-mémoire de l'OMS sur l'obésité et surpoids. WHO Media Centre. 2011; Available from: <http://www.who.int/mediacentre>.
46. Rapport du Ministère du Travail de l'Emploi et de la Santé. Plan Obésité 2010-2013. Disponible sur : <http://www.sante.gouv.fr>. Paris, 2011.
47. Report of the Endocrinologic and Metabolic Drug Advisory Committee. Food and Drug Administration (FDA). 1985; Available from: <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/95/3107t1a.pdf>

48. Report on Overweight and Obesity Statistics from the National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. 2010; Available from: <http://www.win.niddk.nih.gov>.
49. Riva M, Apparicio P, Gauvin L, Brodeur J. Establishing the soundness of administrative spatial units for operationalising the active living potential of residential environments: an exemplar for designing optimal zones. *International Journal of Health Geographics*. 2008;7(43):1-13.
50. Riva M, Gauvin L, Barnett TA. Toward the next generation of research into small area effects on health: a synthesis of multilevel investigations published since July 1998. *J Epidemiol Community Health*. 2007 Oct;61(10):853-61.
51. Rolland-Cachera MF, Castetbon K, Arnault N, Bellisle F, Romano MC, Lehingue Y, et al. Body mass index in 7-9-y-old French children: frequency of obesity, overweight and thinness. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002 Dec;26(12):1610-6.
52. Salanave B, Peneau S, Rolland-Cachera M-F, Hercberg S, Castetbon K. Stabilization of overweight prevalence in French children between 2000 and 2007. *International Journal of Pediatric Obesity*. 2009;4:66-72.
53. Siddiqi N. Publication bias in epidemiological studies. *Cent Eur J Public Health*. 2011 Jun;19(2):118-20.
54. Toute l'Europe. Santé publique : comparatif de l'obésité en Europe. Available from: <http://www.touteleurope.eu>.
55. Townshend T, Lake AA. Obesogenic urban form: theory, policy and practice. *Health Place*. 2009 Dec;15(4):909-16.
56. Vandebroek P, Goossens J, Clemens M. Trackling Obesities: Future choices - Obesity System Atlas. Report of the UK Government's Foresight Programme. London2007.

57. Veerman JL, Van Beeck EF, Barendregt JJ, Mackenbach JP. By how much would limiting TV food advertising reduce childhood obesity? *European Journal of Public Health*. 2009;19(4):365-9.
58. Vigarello G. *Les métamorphoses du gras : Histoire de l'obésité du Moyen Âge au XXe siècle*. Paris: Editions du Seuil; 2010.
59. Young LR, Nestle M. The contribution of expanding portion sizes to the US obesity epidemic. *Am J Public Health*. 2002 Feb;92(2):246-9.
60. Ziegler O. L'histoire naturelle de l'obésité est en train de changer. *Obes* 2008;3(6).

Citées dans les articles

1. Agyemang C, van Hooijdonk C, Wendel-Vos W, Ujcic-Voortman JK, Lindeman E, Stronks K, et al. Ethnic differences in the effect of environmental stressors on blood pressure and hypertension in the Netherlands. *BMC Public Health*. 2007;7:118.
2. Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1974;19(6):716-23.
3. Andersen AF, Carson C, Watt HC, Lawlor DA, Avlund K, Ebrahim S. Life-course socio-economic position, area deprivation and Type 2 diabetes: findings from the British Women's Heart and Health Study. *Diabet Med*. 2008 Dec;25(12):1462-8.
4. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Brown DG, Erdmann CA, Bertoni AG. Neighborhood resources for physical activity and healthy foods and their association with insulin resistance. *Epidemiology*. 2008 Jan;19(1):146-57.
5. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Brown DG, O'Meara ES, Raghunathan TE. Association of Insulin Resistance with Distance to Wealthy Areas The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Am J Epidemiol*. 2006;165(4):389-97.

6. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Brown DG, O'Meara ES, Raghunathan TE. Association of insulin resistance with distance to wealthy areas: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Am J Epidemiol*. 2007 Feb 15;165(4):389-97.
7. Babisch W, Ising H, Gallacher JE, Sharp DS, Baker IA. Traffic noise and cardiovascular risk: the Speedwell study, first phase. Outdoor noise levels and risk factors. *Arch Environ Health*. 1993 Nov-Dec;48(6):401-5.
8. Beckman A, Hakansson A, Rastam L, Lithman T, Merlo J. The role country of birth plays in receiving disability pensions in relation to patterns of health care utilisation and socioeconomic differences: a multilevel analysis of Malmo, Sweden. *BMC Public Health*. 2006;6:71.
9. Bell JF, Wilson JS, Liu GC. Neighborhood greenness and 2-year changes in body mass index of children and youth. *Am J Prev Med*. 2008 Dec;35(6):547-53.
10. Benetos A, Thomas F, Pannier B, Bean K, Jengo B, Guize L. All-cause and cardiovascular mortality using the different definitions of metabolic syndrome. *Am J Cardiol*. 2008 Jul 15;102(2):188-91.
11. Berke EM, Koepsell TD, Moudon AV, Hoskins RE, Larson EB. Association of the built environment with physical activity and obesity in older persons. *Am J Public Health*. 2007 Mar;97(3):486-92.
12. Bjork J, Albin M, Grahn P, Jacobsson H, Ardo J, Wadbro J, et al. Recreational values of the natural environment in relation to neighbourhood satisfaction, physical activity, obesity and wellbeing. *J Epidemiol Community Health*. 2008 Apr;62(4):e2.
13. Black JL, Macinko J, Dixon LB, Fryer GE, Jr. Neighborhoods and obesity in New York City. *Health Place*. 2010 May;16(3):489-99.
14. Boehmer TK, Hoehner CM, Deshpande AD, Brennan Ramirez LK, Brownson RC. Perceived and observed neighborhood indicators of obesity among urban adults. *Int J Obes (Lond)*. 2007 Jun;31(6):968-77.

15. Breslow N. *Statistical Methods in Cancer Research. Volume 1: The Analysis of Case-Control Studies.* Lyon1980.
16. Brookhart MA, Schneeweiss S, Rothman KJ, Glynn RJ, Avorn J, Sturmer T. Variable selection for propensity score models. *Am J Epidemiol.* 2006 Jun 15;163(12):1149-56.
17. Bruner MW, Lawson J, Pickett W, Boyce W, Janssen I. Rural Canadian adolescents are more likely to be obese compared with urban adolescents. *Int J Pediatr Obes.* 2008;3(4):205-11.
18. Burdette HL, Whitaker RC. Neighborhood playgrounds, fast food restaurants, and crime: relationships to overweight in low-income preschool children. *Prev Med.* 2004 Jan;38(1):57-63.
19. Chaix B. Geographic life environments and coronary heart disease: a literature review, theoretical contributions, methodological updates, and a research agenda. *Annu Rev Public Health.* 2009 Apr 29;30:81-105.
20. Chaix B. Geographic Life Environments and Coronary Heart Disease: A Literature Review, Theoretical Contributions, Methodological Updates, and a Research Agenda. *Annu Rev Public Health.* 2009 Jan 14.
21. Chaix B, Bean K, Leal C, Thomas F, Havard S, Evans D, et al. Individual/neighborhood social factors and blood pressure in the RECORD Cohort Study: which risk factors explain the associations? *Hypertension.* 2010 Mar;55(3):769-75.
22. Chaix B, Billaudeau N, Thomas F, Havard S, Evans D, Kestens Y, et al. Neighborhood effects on health: correcting bias from neighborhood effects on participation. *Epidemiology.* 2011;22(1):18-26.
23. Chaix B, Chauvin P. Tobacco and alcohol consumption, sedentary lifestyle and overweightness in France: a multilevel analysis of individual and area-level determinants. *Eur J Epidemiol.* 2003;18(6):531-8.

24. Chaix B, Ducimetiere P, Lang T, Haas B, Montaye M, Ruidavets JB, et al. Residential environment and blood pressure in the PRIME Study: is the association mediated by body mass index and waist circumference? *J Hypertens*. 2008 Jun;26(6):1078-84.
25. Chaix B, Leal C, Evans D. Neighborhood-level confounding in epidemiologic studies: unavoidable challenges, uncertain solutions. *Epidemiology* 2009;in press (Invited commentary).
26. Chaix B, Leyland AH, Sabel CE, Chauvin P, Rastam L, Kristersson H, et al. Spatial clustering of mental disorders and associated characteristics of the neighbourhood context in Malmo, Sweden, in 2001. *J Epidemiol Community Health*. 2006 May;60(5):427-35.
27. Chaix B, Merlo J, Evans D, Leal C, Havard S. Neighbourhoods in eco-epidemiologic research: delimiting personal exposure areas. A response to Riva, Gauvin, Apparicio and Brodeur. *Soc Sci Med*. 2009 Nov;69(9):1306-10.
28. Chaix B, Merlo J, Subramanian SV, Lynch J, Chauvin P. Comparison of a spatial perspective with the multilevel analytical approach in neighborhood studies: the case of mental and behavioral disorders due to psychoactive substance use in Malmo, Sweden, 2001. *Am J Epidemiol*. 2005 Jul 15;162(2):171-82.
29. Chaix BM, J; Evans, D; Leal, C; Havard, C. Neighbourhoods in eco-epidemiologic research: delimiting personal exposure areas. A response to Riva, Gauvin, Apparicio and Brodeur. *Soc Sci Med* 2009;in press (Invited commentary).
30. Cohen DA, Finch BK, Bower A, Sastry N. Collective efficacy and obesity: the potential influence of social factors on health. *Soc Sci Med*. 2006 Feb;62(3):769-78.
31. Coogan PF, Cozier YC, Krishnan S, Wise LA, Adams-Campbell LL, Rosenberg L, et al. Neighborhood Socioeconomic Status in Relation to 10-Year Weight Gain in the Black Women's Health Study. *Obesity (Silver Spring)*. 2010 Apr 1.

32. Cozier YC, Palmer JR, Horton NJ, Fredman L, Wise LA, Rosenberg L. Relation between neighborhood median housing value and hypertension risk among black women in the United States. *Am J Public Health*. 2007 Apr;97(4):718-24.
33. Cubbin C, Sundquist K, Ahlen H, Johansson SE, Winkleby MA, Sundquist J. Neighborhood deprivation and cardiovascular disease risk factors: protective and harmful effects. *Scand J Public Health*. 2006;34(3):228-37.
34. Diez-Roux AV, Link BG, Northridge ME. A multilevel analysis of income inequality and cardiovascular disease risk factors. *Soc Sci Med*. 2000 Mar;50(5):673-87.
35. Diez Roux AV, Borrell LN, Haan M, Jackson SA, Schultz R. Neighbourhood environments and mortality in an elderly cohort: results from the cardiovascular health study. *J Epidemiol Community Health*. 2004 Nov;58(11):917-23.
36. Diez Roux AV, Jacobs DR, Kiefe CI. Neighborhood characteristics and components of the insulin resistance syndrome in young adults: the coronary artery risk development in young adults (CARDIA) study. *Diabetes Care*. 2002 Nov;25(11):1976-82.
37. Dragano N, Bobak M, Wege N, Peasey A, Verde PE, Kubinova R, et al. Neighbourhood socioeconomic status and cardiovascular risk factors: a multilevel analysis of nine cities in the Czech Republic and Germany. *BMC Public Health*. 2007;7:255.
38. Eid JO, H. G.; Puga, D.; Turner, M. A. . Fat city: Questioning the relationship between urban sprawl and obesity. *Journal of Urban Economics* 2008.
39. Ellaway A, Macintyre S, Bonnefoy X. Graffiti, greenery, and obesity in adults: secondary analysis of European cross sectional survey. *BMJ*. 2005 Sep 17;331(7517):611-2.
40. Eriksson C, Rosenlund M, Pershagen G, Hilding A, Ostenson CG, Bluhm G. Aircraft noise and incidence of hypertension. *Epidemiology*. 2007 Nov;18(6):716-21.

41. Espinosa de Los Monteros K, Gallo LC, Elder JP, Talavera GA. Individual and area-based indicators of acculturation and the metabolic syndrome among low-income Mexican American women living in a border region. *Am J Public Health*. 2008 Nov;98(11):1979-86.
42. Ewing R, Brownson RC, Berrigan D. Relationship between urban sprawl and weight of United States youth. *Am J Prev Med*. 2006 Dec;31(6):464-74.
43. Frank L, Kerr J, Saelens B, Sallis J, Glanz K, Chapman J. Food outlet visits, physical activity and body weight: variations by gender and race-ethnicity. *Br J Sports Med*. 2009 Feb;43(2):124-31.
44. Frank LD, Andresen MA, Schmid TL. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *Am J Prev Med*. 2004 Aug;27(2):87-96.
45. Frank LD, Saelens BE, Powell KE, Chapman JE. Stepping towards causation: do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Soc Sci Med*. 2007 Nov;65(9):1898-914.
46. Galvez MP, Hong L, Choi E, Liao L, Godbold J, Brenner B. Childhood obesity and neighborhood food-store availability in an inner-city community. *Acad Pediatr*. 2009 Sep-Oct;9(5):339-43.
47. Gershoff ET, Pedersen S, Lawrence Aber J. Creating neighborhood typologies of GIS-based data in the absence of neighborhood-based sampling: a factor and cluster analytic strategy. *J Prev Interv Community*. 2009;37(1):35-47.
48. Giles-Corti B, Macintyre S, Clarkson JP, Pikora T, Donovan RJ. Environmental and lifestyle factors associated with overweight and obesity in Perth, Australia. *Am J Health Promot*. 2003 Sep-Oct;18(1):93-102.
49. Grafova IB. Overweight children: assessing the contribution of the built environment. *Prev Med*. 2008 Sep;47(3):304-8.

50. Grafova IB, Freedman VA, Kumar R, Rogowski J. Neighborhoods and obesity in later life. *Am J Public Health*. 2008 Nov;98(11):2065-71.
51. Grow HM, Cook AJ, Arterburn DE, Saelens BE, Drewnowski A, Lozano P. Child obesity associated with social disadvantage of children's neighborhoods. *Soc Sci Med*. 2010 Aug;71(3):584-91.
52. Havard S, Reich B, Bean K, Chaix B. Social inequalities in residential exposure to road traffic noise: an environmental justice analysis based on the RECORD Cohort Study. *Occup Environ Med*. 2011;in press.
53. Ho DE, Imai K, King G, Stuart E. Matching as nonparametric preprocessing for reducing model dependence in parametric causal inference. *Political Analysis*. 2007;15:199-236.
54. Human Development Report 2007/2008. New York 2009 [cited 2010 20th July].
55. Inagami S, Cohen DA, Finch BK, Asch SM. You are where you shop: grocery store locations, weight, and neighborhoods. *Am J Prev Med*. 2006 Jul;31(1):10-7.
56. Janssen I, Boyce WF, Simpson K, Pickett W. Influence of individual- and area-level measures of socioeconomic status on obesity, unhealthy eating, and physical inactivity in Canadian adolescents. *Am J Clin Nutr*. 2006 Jan;83(1):139-45.
57. Kim D, Subramanian SV, Gortmaker SL, Kawachi I. US state- and county-level social capital in relation to obesity and physical inactivity: a multilevel, multivariable analysis. *Soc Sci Med*. 2006 Aug;63(4):1045-59.
58. Leal C, Bean K, Chaix B. Neighborhood sociodemographic, physical, service-related, and social-interactive characteristics and BMI or waist circumference in the RECORD Study: evaluation of the separability of associations with a neighborhood characteristic-matching technique. 3rd North American Congress of Epidemiology, Montreal, Canada, June 21-24 2011. Abstract in: *Am J Epidemiol* 2011; 188-S. 2011.

59. Leal C, Bean K, Thomas F, Chaix B. Are associations between ego-centered neighborhood socioeconomic characteristics and body mass index or waist circumference based on model extrapolations? The RECORD Cohort Study. *Epidemiology*. 2011;in press.
60. Leal C, Chaix B. The influence of geographic life environments on cardiometabolic risk factors: a systematic review, a methodological assessment and a research agenda. *Obes Rev*. 2011 Mar;12(3):217-30.
61. Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Bosworth M, Johnson-Shelton D. Obesity and the built environment: does the density of neighborhood fast-food outlets matter? *Am J Health Promot*. 2009 Jan-Feb;23(3):203-9.
62. Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Bosworth M, Johnson-Shelton D, Moore JM, et al. Built environment and 1-year change in weight and waist circumference in middle-aged and older adults: Portland Neighborhood Environment and Health Study. *Am J Epidemiol*. 2009 Feb 15;169(4):401-8.
63. Li F, Harmer P, Cardinal BJ, Vongjaturapat N. Built environment and changes in blood pressure in middle aged and older adults. *Prev Med*. 2009 Mar;48(3):237-41.
64. Li F, Harmer PA, Cardinal BJ, Bosworth M, Acock A, Johnson-Shelton D, et al. Built environment, adiposity, and physical activity in adults aged 50-75. *Am J Prev Med*. 2008 Jul;35(1):38-46.
65. Lin G, Spann S, Hyman D, Pavlik V. Climate amenity and BMI. *Obesity (Silver Spring)*. 2007 Aug;15(8):2120-7.
66. Lovasi GS, Neckerman KM, Quinn JW, Weiss CC, Rundle A. Effect of individual or neighborhood disadvantage on the association between neighborhood walkability and body mass index. *Am J Public Health*. 2009 Feb;99(2):279-84.
67. Mason SM, Kaufman JS, Emch ME, Hogan JK, Savitz DA. Ethnic density and preterm birth in African-, Caribbean-, and US-born non-hispanic black populations in New York Cty. *Am J Epidemiol*. 2010;172(7):800-8.

68. McMurray RGH, J. S.; Bangdiwala, S. I.; Deng, S. Effects of road traffic noise on prevalence of hypertension in men: results of Luebeck Blood Pressure Study. *J Rural Health*. 1999;15(4):365-74.
69. Merlo J, Chaix B. Neighbourhood effects and the real world beyond randomized community trials: a reply to Michael J Oakes. *Int J Epidemiol*. 2006 Oct;35(5):1361-3.
70. Merlo J, Chaix B, Yang M, Lynch J, Rastam L. A brief conceptual tutorial of multilevel analysis in social epidemiology: linking the statistical concept of clustering to the idea of contextual phenomenon. *J Epidemiol Community Health*. 2005 Jun;59(6):443-9.
71. Merten MJ, Williams AL, Shriver LH. Breakfast consumption in adolescence and young adulthood: parental presence, community context, and obesity. *J Am Diet Assoc*. 2009 Aug;109(8):1384-91.
72. Messer LC, Oakes JM, Mason S. Effects of socioeconomic and racial residential segregation on preterm birth: a cautionary tale of structural confounding. *Am J Epidemiol*. 2010 Mar 15;171(6):664-73.
73. Millstein RA, Yeh HC, Brancati FL, Batts-Turner M, Gary TL. Food availability, neighborhood socioeconomic status, and dietary patterns among blacks with type 2 diabetes mellitus. *Medscape J Med*. 2009;11(1):15.
74. Mobley LR, Root ED, Finkelstein EA, Khavjou O, Farris RP, Will JC. Environment, obesity, and cardiovascular disease risk in low-income women. *Am J Prev Med*. 2006 Apr;30(4):327-32.
75. Morland K, Diez Roux AV, Wing S. Supermarkets, other food stores, and obesity: the atherosclerosis risk in communities study. *Am J Prev Med*. 2006 Apr;30(4):333-9.
76. Mujahid MS, Diez Roux AV, Borrell LN, Nieto FJ. Cross-sectional and longitudinal associations of BMI with socioeconomic characteristics. *Obes Res*. 2005 Aug;13(8):1412-21.

77. Mujahid MS, Diez Roux AV, Morenoff JD, Raghunathan TE, Cooper RS, Ni H, et al. Neighborhood characteristics and hypertension. *Epidemiology*. 2008 Jul;19(4):590-8.
78. Nelson MC, Gordon-Larsen P, Song Y, Popkin BM. Built and social environments associations with adolescent overweight and activity. *Am J Prev Med*. 2006 Aug;31(2):109-17.
79. Neovius M, Rasmussen F. Place of residence and obesity in 1,578,694 young Swedish men between 1969 and 2005. *Obesity (Silver Spring)*. 2008 Mar;16(3):671-6.
80. Oakes JM. The (mis)estimation of neighborhood effects: causal inference for a practicable social epidemiology. *Soc Sci Med*. 2004 May;58(10):1929-52.
81. Oakes JM. Commentary: advancing neighbourhood-effects research--selection, inferential support, and structural confounding. *Int J Epidemiol*. 2006 Jun;35(3):643-7.
82. Oakes JM, Johnson PJ. Propensity score matching methods for social epidemiology. In: Oakes JM, Kaufman JS, eds *Methods in Social Epidemiology*. San Francisco: Jossey-Bass; 2006. p. 370-92.
83. Oliver LN, Hayes MV. Effects of neighbourhood income on reported body mass index: an eight year longitudinal study of Canadian children. *BMC Public Health*. 2008;8:16.
84. Owen N, Humpel N, Leslie E, Bauman A, Sallis JF. Understanding environmental influences on walking; Review and research agenda. *Am J Prev Med*. 2004 Jul;27(1):67-76.
85. Petersen ML, Sinisi SE, van der Laan MJ. Estimation of direct causal effects. *Epidemiology*. 2006 May;17(3):276-84.
86. Plantinga AJB, S. The association between urban sprawl and obesity: is it a two-way street? *Journal of Regional Science*. 2007;47(5):857-79.

87. Powell LM, Auld MC, Chaloupka FJ, O'Malley PM, Johnston LD. Access to fast food and food prices: relationship with fruit and vegetable consumption and overweight among adolescents. *Adv Health Econ Health Serv Res*. 2007;17:23-48.
88. Propper C, Jones K, Bolster A, Burgess S, Johnston R, Sarker R. Local neighbourhood and mental health: evidence from the UK. *Soc Sci Med*. 2005 Nov;61(10):2065-83.
89. Rose D, Hutchinson PL, Bodor JN, Swalm CM, Farley TA, Cohen DA, et al. Neighborhood food environments and Body Mass Index: the importance of in-store contents. *Am J Prev Med*. 2009 Sep;37(3):214-9.
90. Rundle A, Neckerman KM, Freeman L, Lovasi GS, Purciel M, Quinn J, et al. Neighborhood food environment and walkability predict obesity in New York City. *Environ Health Perspect*. 2009 Mar;117(3):442-7.
91. Rutt CD, Coleman KJ. Examining the relationships among built environment, physical activity, and body mass index in El Paso, TX. *Prev Med*. 2005 Jun;40(6):831-41.
92. Santana P, Santos R, Nogueira H. The link between local environment and obesity: a multilevel analysis in the Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Soc Sci Med*. 2009 Feb;68(4):601-9.
93. Schootman M, Andresen EM, Wolinsky FD, Malmstrom TK, Miller JP, Yan Y, et al. The effect of adverse housing and neighborhood conditions on the development of diabetes mellitus among middle-aged African Americans. *Am J Epidemiol*. 2007 Aug 15;166(4):379-87.
94. Scott MM, Dubowitz T, Cohen DA. Regional differences in walking frequency and BMI: what role does the built environment play for Blacks and Whites? *Health Place*. 2009 Sep;15(3):882-7.
95. Seliske LM, Pickett W, Boyce WF, Janssen I. Association between the food retail environment surrounding schools and overweight in Canadian youth. *Public Health Nutr*. 2009 Sep;12(9):1384-91.

96. Sharma AM, Chetty VT. Obesity, hypertension and insulin resistance. *Acta Diabetol.* 2005 Apr;42 Suppl 1:S3-8.
97. Singh GK, Kogan MD, van Dyck PC. A multilevel analysis of state and regional disparities in childhood and adolescent obesity in the United States. *J Community Health.* 2008 Apr;33(2):90-102.
98. Spence JC, Cutumisu N, Edwards J, Raine KD, Smoyer-Tomic K. Relation between local food environments and obesity among adults. *BMC Public Health.* 2009;9:192.
99. Stafford M, Brunner EJ, Head J, Ross NA. Deprivation and the development of obesity a multilevel, longitudinal study in England. *Am J Prev Med.* 2010 Aug;39(2):130-9.
100. Sturm R, Datar A. Body mass index in elementary school children, metropolitan area food prices and food outlet density. *Public Health.* 2005 Dec;119(12):1059-68.
101. Sturmer T, Schneeweiss S, Rothman KJ, Avorn J, Glynn RJ. Performance of propensity score calibration--a simulation study. *Am J Epidemiol.* 2007 May 15;165(10):1110-8.
102. Thomas F, Bean K, Pannier B, Oppert JM, Guize L, Benetos A. Cardiovascular mortality in overweight subjects: the key role of associated risk factors. *Hypertension.* 2005 Oct;46(4):654-9.
103. Tilt JH, Unfried TM, Roca B. Using objective and subjective measures of neighborhood greenness and accessible destinations for understanding walking trips and BMI in Seattle, Washington. *Am J Health Promot.* 2007 Mar-Apr;21(4 Suppl):371-9.
104. Timperio A, Jeffery RW, Crawford D, Roberts R, Giles-Corti B, Ball K. Neighbourhood physical activity environments and adiposity in children and mothers: a three-year longitudinal study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2010;7(18).

105. Westreich D, Cole SR, Funk MJ, Brookhart MA, Sturmer T. The role of the c-statistic in variable selection for propensity score models. *Pharmacoepidemiol Drug Saf.* 2011 Mar;20(3):317-20.
106. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation. Geneva2000.
107. Zenk SN, Schulz AJ, Mentz G, House JS, Gravlee CC, Miranda PY, et al. Inter-rater and test-retest reliability: methods and results for the neighborhood observational checklist. *Health Place.* 2007 Jun;13(2):452-65.