Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de lôEnvironnement et dôAménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de lôEnvironnement

Qualité de lôair et cyclabilité à Bruxelles

Mémoire de Fin dôEtudes présenté par
VAN OOSTEN, Jean-Michel
En vue de lôobtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de lôEnvironnement
Finalité Gestion de lôEnvironnement Ma120ECTS ENVI5G-T

Année Académique : 2013-2014

Directeur : Prof. Catherine Bouland

Résumé

Les avantages environnementaux et sanitaires liés à la pratique du vélo au niveau sociétal sont souvent mis en avant pour encourager la mise en î uvre dôune politique cyclable ambitieuse. Loin de remettre en question ces bienfaits au niveau sociétal, ce projet de recherche situé à Bruxelles prend le parti de se mettre à la place du cycliste, qui subit quotidiennement les émanations nocives des véhicules motorisés avec lesquels il partage la voirie. La problématique y est traitée sous lôangle des itinéraires alternatifs dôexposition à la pollution de lôair local.

Un échantillon de convenance de dix-huit volontaires adultes sains a parcouru deux itinéraires spécialement conçus pour lôétude de terrain à Bruxelles, qualifiés lôun de HIGH, lôautre de LOW durant le mois de mars 2014. Leur exposition à la pollution de lôair local a été évaluée à lôaide dôun dispositif mobile équipé dôappareils portables mesurant le Black Carbon et les PM2,5 en temps réel. Les volontaires ont rapporté les symptômes dôirritations éventuellement ressentis à lôaide dôun questionnaire et les ont localisés à lôaide dôun exercice de report sur carte mis au point par le chercheur. Leur attitude vis-à-vis de la problématique liant la qualité de lôair et leurs habitudes de déplacement à vélo à Bruxelles a également été évaluée. Enfin, la prise en compte des aspects liés à la qualité de lôair dans la mise en î uvre de la politique cyclable bruxelloise est aussi abordée dans ce projet pilote par lôintermédiaire de la rencontre dôexperts.

La mise au point dôun indicateur de charge cumulée dôexposition par trajet a permis de montrer que lôitinéraire au cours duquel une majorité dôaxes routiers à forte densité de trafic sont empruntés expose davantage les cyclistes au Black Carbon que lôitinéraire constitué pour la plus grande part de voiries du réseau de quartier à faible densité de trafic. Par contre, le protocole mis en î uvre montre des niveaux inquiétants de concentration en PM2,5 pour la quasi entièreté des trajets parcourus, quel que soit le type dôitinéraire emprunté.

Les cyclistes volontaires ayant participé à la recherche ont montré très peu de signes dôirritations après avoir parcouru les deux itinéraires, et ont surtout rapporté des sensations de gênes olfactives. Ils ne semblent pas accorder dôimportance à la qualité de lôair lors de leurs déplacements à vélo à Bruxelles.

Enfin, la politique cyclable à Bruxelles ne semble pas accorder une place de choix à la qualité de lôair dans la mise en î uvre des critères de cyclabilité.

Ce projet de recherche tente enfin de montrer quôil existe encore de nombreuses incertitudes à lever quant au risque sanitaire encouru par les cyclistes urbains exposés quotidiennement à la pollution de lôair local.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon promoteur Catherine Bouland dôavoir accompagné cette recherche avec tant dôenthousiasme,

Evi Dons et Luc Int Panis du VITO,

Luc Jacob de lôESP,

Jean Landercy et Peter Vanderstraeten de lôIBGE,

Frederik Depoortere de Bruxelles Mobilité,

Bas de Geus de la VUB,

Etienne Holef de Pro Velo,

Heinz Werner Engel de môavoir si gentiment prêté la caméra GoPro,

Maïté Abram et Véronique Marchal dôavoir si gentiment mis leurs vélos à ma disposition,

Les dix-huit volontaires qui ont bien voulu me prêter leurs gambettes,

Emilie Mutombo, Françoise Noël, le Docteur Thanh Ngoc Tran et Wei-Hong Zhang pour leurs conseils méthodologiques,

LôIGEAT dôavoir mis un local à ma disposition,

Mes proches pour leur soutien indéfectible : mes chers parents et surtout Benny pour sa si grande patience.

Table des matières

Liste des figures et tableaux

1. Introduction....1
2. Etat de lôArt....2
   2.1. Cyclabilité à Bruxelles....2
   2.2. Part modale du vélo à Bruxelles....3
   2.3. Avantages environnementaux et sanitaires liés à la pratique du vélo....3
   2.4. La directive 2008/50/CE....4
3. Matériels et méthodes....6
   3.1. Introduction....6
   3.2. Revue de la littérature....7
   3.3. Etude de terrain....8
      3.3.1. Dispositif expérimental....8
      3.3.2. Volontaires....8
      3.3.3. Localisation de lôétude....9
      3.3.4. Itinéraires....9
      3.3.5. Qualité de lôair....10
      3.3.6. Données météorologiques....14
      3.3.7. Questionnaire....14
      3.3.8. Exercice de report des symptômes sur carte....15
      3.3.9. Géolocalisation....16
      3.3.10. Journal de bord....16
      3.3.11. Déroulement de lôexercice....16
   3.4. Entretiens semi-dirigés dôexperts....17
   3.5. Traitement des données....18
      3.5.1. Les données de qualité de lôair....18
      3.5.2. Les questionnaires....20

3.5.3. Les autres données 20
4. Résultats et interprétation 20
4.1. Revue de la littérature 20
4.1.1. Les types de polluants importants à Bruxelles 20
4.1.2. Particules fines et santé 21
4.1.3. Pollution de lôair et activités physiques 21
4.1.4. Vélo et pollution 22
4.1.5. Vélo et santé 22
4.1.1. Incertitudes 22
4.1.2. Prise en compte de la santé dans la politique cyclable à Bruxelles 23
4.1.3. Synthèse 23
4.2. Les itinéraires 24
4.2.1. Présentation 24
4.2.2. Synthèse 27
4.3. Les mesures dôexposition 28
4.3.1. La charge cumulée en polluant par trajet 28
4.3.2. Lôexposition aux polluants le long des deux trajets 32
4.3.3. Synthèse 34
4.4. Les questionnaires et participants 35
4.4.1. Les participants 35
4.4.2. Le questionnaire 36
4.4.3. Synthèse 40
4.1. Lôexercice de report des symptômes sur carte 40
4.1.1. Les itinéraires HIGH 40
4.1.2. Les itinéraires LOW 44
4.1.3. Comparaison des résultats obtenus sur lôensemble des trajets HIGH et LOW 45
4.1.4. Un cas particulier : lôitinéraire HIGH du 13 mars 2014 46
4.1.5. Synthèse 47
5. Discussion et perspectives 48

6. Conclusion 52

7. Bibliographie.....53

Annexes

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

Figure 3.1 Liens entre la question de recherche (Q), les trois hypothèses principales (H1 à 3), les quatre hypothèses secondaires (HS1 à 4) et les méthodes mises en î uvre (en rose). 6
Figure 3.2 Le microaethalomètre.....11
Figure 3.3 le Quest vu de face 12
Figure 3.4 Installation des appareils 13
Figure 3.5 Position du microaethalomètre dans la poche de poitrine gauche de la veste 13
Figure 3.6 : Principe de la méthode utilisée pour calculer la charge cumulée par trajet.....19
Figure 4.1 : Cartes des itinéraires HIGH et LOW 24
Figure 4.2: Charge cumulée en Black Carbon sur 30 minutes pour les itinéraires LOW et HIGH.....28
Figure 4.3 : Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes pour les itinéraires LOW et HIGH.....30
Figure 4.4: Evolution de la concentration en Black Carbon en fonction du temps - Itinéraire HIGH du 13 mars 2014 34
Figure 4.5: Evolution de la concentration en PM2,5 en fonction du temps- Itinéraire HIGH du 13 mars 2014 (jour de Smog) 34
Figure 4.6: Symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des tests effectués sur l'itinéraire HIGH..41
Figure 4.7: symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des tests effectués sur l'itinéraire LOW ...44
Figure 4.8: Symptômes rapportés sur carte après retour de l'itinéraire HIGH du 13 mars 2014.....46

Liste des tableaux

Tableau 4.1 Carte dõidentité des deux trajets 25
Tableau 4.3: Charge cumulée en Black Carbon sur 30 minutes - Itinéraire HIGH 29
Tableau 4.4: Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes - Itinéraire LOW.....30
Tableau 4.5: Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes - Itinéraire HIGH 31
Tableau 4.6: Moyenne, écart-type, médiane, valeurs limites et variance des deux polluants pour les trajets LOW et HIGH.....32
Tableau 4.7 : Renseignements Signalétiques des participants.....35
Tableau 4.8 : Résultats du questionnaire.....36
Tableau 4.9 : symptômes auto-rapportés.....39

1. Introduction

Le présent document témoigne du travail de recherche effectué par lôétudiant dans le cadre de son mémoire de fin dôétudes du Master en Gestion de lôEnvironnement de lôInstitut de Gestion de lôEnvironnement et dôAménagement du Territoire.

Le vélo est souvent présenté comme un moyen rapide et efficace de se déplacer en ville. De plus, les bienfaits pour la santé de la pratique régulière dôune activité physique sont présentés comme un argument en faveur de la mise en î uvre dôune politique cyclable ambitieuse. Les nombreux avantages environnementaux du vélo plaident également en faveur dôune politique de soutien au report modal de la voiture vers le vélo.

Si les bénéfices sanitaires et environnementaux dôune politique cyclable ambitieuse sont incontestables au niveau sociétal, on peut néanmoins sôinterroger sur les risques sanitaires encourus par les cyclistes qui, en milieu urbain, partagent quotidiennement la voirie avec les véhicules motorisés et en subissent les émanations nocives.

Ce projet de recherche localisé à Bruxelles a pour objectif de tenter de répondre à la question suivante :

« Du point de vue des cyclistes, les bénéfices sanitaires apportés par la pratique régulière dôune activité physique compensent-ils les risques liés à lôexposition à la pollution de lôair lors de leurs déplacements en milieu urbain ? »

La problématique est abordée sous lôangle dôitinéraires alternatifs dôexposition, et les marqueurs dôexposition échantillonnés sont les particules fines dôun diamètre inférieur à 2,5 micromètres (PM2,5) et le Black Carbon (BC).

Trois hypothèses principales ont été formulées :

« Emprunter un itinéraire cyclable alternatif diminue lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair local »,

« Les cyclistes quotidiens sont conscients des risques sanitaires liés à la qualité de lôair à Bruxelles »,

« Les cyclistes quotidiens modifient lôitinéraire cyclable emprunté pour diminuer leur exposition nocive à la pollution de lôair ».

Quatre hypothèses secondaires découlent de la préparation du dispositif expérimental mis en place :

« Les cyclistes rapportent davantage de symptômes dôirritation des yeux et des voies respiratoires supérieures après avoir emprunté lôitinéraire HIGH quôaprès avoir parcouru lôitinéraire LOW »,

« En empruntant lôitinéraire HIGH sont cyclistes sont plus exposés au Black Carbon et aux PM2,5 quôen empruntant lôitinéraire LOW »,

« Lôitinéraire HIGH est moins recommandé aux cyclistes que lôitinéraire LOW »,

« La qualité de lôair et le risque environnemental y étant lié sont pris en compte dans la politique dôaménagement cyclable à Bruxelles ».

Les risques liés à la sécurité des cyclistes, bien quôessentiels à prendre en compte, ne sont pas envisagés dans ce travail.

Le dispositif expérimental, mis en î uvre pour tenter dôapporter des éléments de réponses à la question de recherche et de vérifier les hypothèses, est présenté au point 3 consacré aux matériels et méthodes. Les résultats sont ensuite présentés et interprétés au point suivant. Les éléments dôinformations récoltés suite à la mise en î uvre de lôétude de terrain sont discutés au point 5, à la lumière des hypothèses et de la question de recherche formulées au départ, pour terminer par la conclusion au point 6.

Voici maintenant un bref état de lôart permettant de situer lôétude dans un contexte conceptuel.

2. Etat de lôArt

2.1. Cyclabilité à Bruxelles

Le concept de cyclabilité est un néologisme traduit du mot anglais « bikeability ». Ce terme, utilisé pour attribuer des critères de qualité à une infrastructure cyclable, désigne également un programme gouvernemental dôéducation destiné à promouvoir la pratique du vélo dans les déplacements quotidiens dès le plus jeune âge (Department for Transport, 2014).

En français, il est utilisé pour attribuer des critères de qualité à une infrastructure cyclable. Dôaprès Bruxelles Mobilité, cinq critères permettent dôévaluer la cyclabilité dôune infrastructure cyclable : la cohérence du réseau dôitinéraires proposés aux cyclistes, la rapidité, lôattractivité des aménagements, la sécurité des infrastructures et le confort ressenti lors des déplacements le long des itinéraires (Depoortere, communication personnelle le 7 novembre 2013 et formation manager vélo suivie à Bruxelles Mobilité entre avril et juin 2014). Dôaprès les informations recueillies au cours dôun entretien avec le manager vélo de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC), il est apparu que les cinq critères doivent être respectés pour garantir le succès dôune politique cyclable. Ce succès est in fine mesuré par la part modale des déplacements consacrée au vélo. Dôaprès F. Depoortere, ces cinq

critères ne sont souvent pas évidents à mettre en place. Une priorité est accordée aux critères de cohérence et de rapidité, car ils conditionnent lôexistence-même dôun réseau dôitinéraires cyclables.

A Bruxelles, la politique cyclable est mise en î uvre au niveau régional et local. Lôétat dôavancement de lôimplémentation des politiques cyclables et notamment le respect des cinq critères de cyclabilité sont estimés à lôaide dôune méthode dôévaluation mise au point par un consortium international dôexperts par le biais dôun projet soutenu par la Commission Européenne (BYPAD, 2003).

Dans le cadre du présent projet de recherche, le choix a été fait dôinclure la qualité de lôair comme un critère principal de cyclabilité. Celle-ci est prise en compte actuellement de manière indirecte dans le critère dôattractivité, et nôoccupe donc pas une place de choix dans la grille de lecture proposée par la définition générale donnée à la cyclabilité (Bruxelles Mobilité, formation manager vélo, avril à juin 2014).

2.2. Part modale du vélo à Bruxelles

Le résultat dôune politique cyclable efficace peut être évalué in fine par la part modale du vélo pour lôensemble des déplacements effectués tous modes de déplacement confondus.

La part modale exprime la quantité de déplacements effectués à lôaide dôun mode sur le total des déplacements accomplis tous modes confondus On ramène généralement dans les statistiques la part modale dôun déplacement au mode principal utilisé pour effectuer ce déplacement (Bruxelles Mobilité, 2011 :46).

Par « cycliste quotidien », on entend la catégorie dôindividus qui effectuent quotidiennement leurs déplacements domicile-travail à vélo.

A Bruxelles, la part modale du vélo en tant que mode principal pour les déplacements internes à la région était de 3,5% en 2010 (Cornelis et al, 2010), alors quôen Flandre cette part modale atteignait 17,6% (Cornelis et al, 2010 :261).

Lôassociation Pro Velo réalise une série de comptages des cyclistes à Bruxelles dans le cadre dôune convention avec la Région de Bruxelles-Capitale. En 2013, ils étaient évalués à près de 6500, et un tassement du nombre de cyclistes comptés est observé depuis les dernières années (Pro Velo, 2014b :13).

On peut se poser la question de savoir comment une politique cyclable parviendra à atteindre lôobjectif de 20% de part modale du vélo à Bruxelles fixé pour 2018 par le Plan Iris 2 (Bruxelles Mobilité, 2011a :47).

2.3. Avantages environnementaux et sanitaires liés à la pratique du vélo

De nombreux avantages sont liés à la pratique du vélo, et ce à la fois dôun point de vue environnemental, mais encore dôun point de vue sanitaire.

Dôun point de vue environnemental, les avantages dôun transfert modal au profit du vélo sont surtout liés à une diminution des impacts liés au secteur du transport, et en particulier des déplacements effectués en voiture personnelle. La condition de cette réduction dôimpacts est bien entendu liée à un transfert modal depuis la voiture personnelle. Les déplacements à vélo présentent lôavantage de consommer peu dôespace, dôêtre efficaces énergétiquement, de ne générer aucune émission à lôusage et de faire peu de bruit. Par contre, le transport génère de nombreuses nuisances : occupation dôespace, bruit, gâchis paysager, émissions de gaz à effet de serre, de gaz polluants et de particules fines.

Ainsi, à Bruxelles en 2008 plus de la moitié des émissions dôoxyde dôazote provient du secteur du transport (IBGE, 2011 :3), lôozone est un polluant secondaire lié à la présence dôoxyde dôazote et de composés organiques volatiles(COV), tous deux émis en partie par le secteur du transport (IBGE, 2012). Ce secteur était responsable de 19% des émissions de CO_2 et de 70 % des émissions de PM de diamètre inférieur à 10 micromètres (IBGE, 2011 :3).

La pratique du vélo comporte également de nombreux avantages sanitaires. Tous les auteurs dôarticles traitant du vélo repris dans la bibliographie sôaccordent sur ce point. Pucher et Bueler résument bien les avantages sanitaires liés aux modes de transports actifs que sont la marche et le vélo dans une revue de littérature publiée en 2010. Ainsi, même la pratique régulière dôune activité physique modérée engendrerait des bénéfices pour la santé : diminution de lôobésité, des taux de triglycérides, de la pression artérielle au repos et des taux dôinsuline (Pucher et Bueler, 2010 :3). Certaines études longitudinales mentionnées par les auteurs montrent une augmentation de lôespérance de vie pouvant aller jusquôà cinq mois (Pucher et Bueler, 2010 :4).

2.4. La directive 2008/50/CE

LôUnion européenne a fixé des normes à respecter en matière de qualité de lôair dans la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de lôair ambiant et un air pur pour lôEurope. Une méthodologie précise y est indiquée pour suivre lôévolution des concentrations en polluants atmosphériques. Les PM2,5, y reçoivent une attention particulière, étant données les « incidences négatives importantes sur la santé humaine » (L 152/2).

Le caractère transfrontalier du comportement de certains polluants est également pris en compte dans la directive, comme lôozone par exemple.

La directive propose une gestion de la qualité de lôair ambiant basée sur des normes à respecter, côest-à-dire des valeurs à ne pas dépasser pendant une certaine période ou des valeurs à atteindre (seuils dôalerte pour la protection de la santé humaine, valeurs limites, valeurs cibles et niveaux critiques). La

directive impose aux états membres de prendre des mesures nécessaires pour informer la population par tous les médias possibles en cas de dépassement de seuils dôinformation ou dôalerte (L152/9).

Ainsi, en ce qui concerne les PM 2,5, la directive fixe une valeur limite à atteindre de 25µg/m³ (microgrammes par mètre cube) comme moyenne annuelle à atteindre pour le 1er janvier 2015. Cette valeur cible pourrait devenir plus sévère à partir de 2020 (IBGE, 2012 :3.6).

3. Matériels et méthodes

3.1. Introduction

Le protocole de recherche présenté ici a pour objectif d'apporter des éléments permettant de tester les trois hypothèses principales (H1, H2 et H3) et les quatre hypothèses secondaires (HS1, HS2, HS3 et HS4) découlant de la question de recherche (Q) (voir figure 3.1[1]).

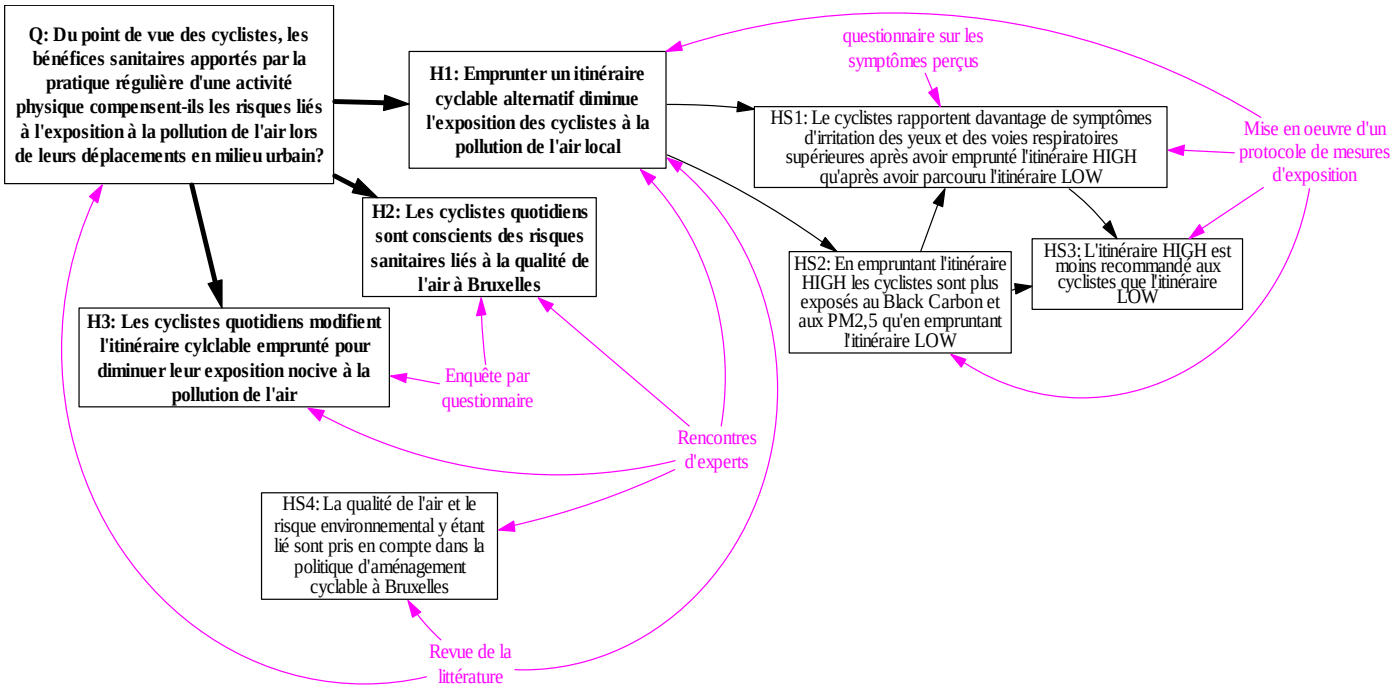


Figure 3.1 Liens entre la question de recherche (Q), les trois hypothèses principales (H1 à 3), les quatre hypothèses secondaires (HS1 à 4) et les méthodes mises en î uvre (en rose).

Ainsi, s'adressant directement à la question de recherche, la revue de la littérature tente d'apprécier l'état d'avancement des connaissances scientifiques permettant de confronter les bénéfices sanitaires de la pratique du vélo aux inconvénients y étant éventuellement associés lors d'une exposition à la pollution de l'air urbain. La revue effectuée a également pour objectif d'apporter des éléments permettant de tester l'hypothèse principale H1.

L'hypothèse secondaire H4 a surgi en aval du projet de recherche. Elle tente d'élargir la problématique traitée ici au domaine de la prise de décision. Non seulement la consultation de documents publiés par des sources officielles, mais encore la rencontre d'experts, ont permis de confronter des éléments de réponse à cette hypothèse.

[1] Réalisé à l'aide de la version 6.2 du logiciel Vensim PLE (Ventana Systems Inc, 2014 Etats-Unis d'Amérique)

La rencontre d'experts a également pour objectif d'obtenir des informations permettant de vérifier les hypothèses H2 et H3. Ces hypothèses nécessitent également la mise en œuvre d'une étude comportementale et notamment d'une enquête par questionnaire pour apprécier l'attitude des cyclistes vis à vis de leur exposition à la pollution de l'air leurs déplacements à vélo. L'ambition de la présente étude pilote n'est pas d'approfondir ces aspects. La rencontre d'experts, ainsi que les questionnaires soumis aux participants à la partie pratique de la présente étude tentent néanmoins d'apporter quelques éléments permettant d'évaluer ces hypothèses.

Le dispositif expérimental mis en place dans la partie pratique du projet de recherche et décrit au point 3.1 a pour objectif de vérifier si l'hypothèse principale H1 ainsi que les trois hypothèses qui en dérivent (HS1, 2 et 3) sont vérifiées. L'avis d'experts rencontrés et l'étude attentive d'exemples issus de la littérature académique ont servi à confectionner un dispositif expérimental adapté à la situation définie par les limites temporelles et matérielles dans lesquelles s'est déroulé le projet de recherche.

Voici à présent une description détaillée des différentes méthodes mises en œuvre pour récolter et traiter l'information ayant servi à alimenter la discussion née de la problématique abordée.

3.2. Revue de la littérature

Les mots-clés suivants ont été utilisés lors de la recherche bibliographique ayant servi non-seulement à récolter l'information contenue dans la revue de la littérature, mais encore à élaborer le protocole de l'étude de terrain réalisée dans le cadre de cette recherche :

Human Health, Urban Mobility, Bicycle Commuting, Air Quality, Air Pollution, Cycling, Biking, Active Mobility, Physical Activity, Bikability, Cycling Health Benefit, Health Hazard, Bicycle Lane, Exhaust Gases, Particulate Matter (PM), Black Carbon, Ulrafine Particles (UFP), Traffic Pollution, Choice of Route, Exposure, Noise, Hart Rate Variability(HRV), Exhaled NO(eNO)

Ces mots-clés ont été introduits dans les moteurs de recherche suivants : Scopus, Science Direct et Cible+.

Pour étoffer la bibliographie, le chercheur a également consulté les sources mentionnées dans les articles publiés par certains auteurs-clés traitant la problématique de l'effet de la qualité de l'air en milieu urbain sur la santé des cyclistes.

De nombreuses publications et autres rapports consultés sur internet et mentionnés dans la bibliographie du présent travail, ont également permis de nourrir la recherche d'information utile à la mise en œuvre du projet de recherche.

La rencontre d'experts a permis de rassembler une source non négligeable d'information et d'articles issus de la littérature scientifique.

Enfin, la participation à différentes conférences et à une formation organisée par Bruxelles Mobilité ont également servi à étoffer la revue de la littérature. Ainsi, dans le cadre de la semaine de la mobilité organisée au mois de septembre 2013, la réunion du groupe de travail POLIS (2013) a été suivie par lôauteur du présent travail. Il en est de même pour la première Conférence Annuelle du projet Appraisal (2013), ainsi que pour la deuxième Journée de Santé Environnementale de lôUniversité Libre de Bruxelles (ESP, 2013).

3.3. Etude de terrain

3.3.1. Dispositif expérimental[2]

Le dispositif expérimental mis en î uvre a pour objectif de montrer quôen éloignant les cyclistes dôaxes à forte densité de trafic motorisé, leur exposition à la pollution de lôair y étant associée diminue.

Seize volontaires adultes sains et non-fumeurs ont chacun parcouru, pendant lôheure de pointe du matin, deux itinéraires dôenviron une demi-heure, de distances et dénivelés similaires, répartis sur douze jours de semaine. Le premier itinéraire est désigné HIGH, les cyclistes y empruntant principalement des voiries à forte densité de trafic. Par contre, au cours du second désigné LOW, les cyclistes volontaires parcourent une majorité de voiries à faible densité de trafic. Pour objectiver lôexposition des volontaires pendant les trajets, lôauteur de la présente recherche, désigné ici lô« intervenant », a accompagné à vélo les volontaires au cours des douze trajets, équipé dôinstruments portables de mesure de la qualité de lôair et dôun dispositif de géolocalisation. Après chaque itinéraire, les volontaires ont rapporté les symptômes dôirritation naso-pharyngée et ophtalmique éventuellement ressentis à lôaide dôun questionnaire. Ils les ont ensuite localisés sur une carte représentant lôitinéraire venant dôêtre parcouru.

3.3.2. Volontaires

Dix-huit volontaires ont été recrutés parmi des étudiants ou anciens étudiants de lôIGEAT, ainsi que parmi leurs cercles de connaissances. Ils ont été contactés en utilisant la liste de diffusion par courriel de lôIGEAT, en publiant un appel sur un réseau social et par bouche à oreille. Un échantillon de convenance a donc ainsi été constitué pour participer à ce projet dôétude pilote. Lôintervenant en assume entièrement la non représentativité et se garde bien ici dôextrapoler les résultats obtenus à une population sortant du cadre de lôéchantillon.

Chaque volontaire a rempli et signé un formulaire dôinformation et de consentement éclairé (voir annexe X) avant de participer à la recherche. Ce document, élaboré dôaprès un modèle fourni par le comité dôéthique de lôHôpital Erasme (2010), a pour but non-seulement dôinformer les participants à la

[2] Lôensemble du dispositif expérimental a été testé au préalable, et ce à trois reprises.

recherche des objectifs de lôétude et du déroulement de celle-ci, mais encore de leur garantir la protection de leurs données personnelles.

Certains critères dôexclusion ont été adoptés lors du recrutement des participants : lôappel à volontaires précisait que ceux-ci devaient être en bonne santé et non-fumeurs. Ces critères ont ensuite été vérifiés à lôaide dôun questionnaire administré aux volontaires avant dôeffectuer chacun des trajets (voir Partie A du questionnaire en annexe). Une liste établie avec lôaide du Docteur en médecine Thanh Ngoc Tran reprend ces critères. Ainsi, les personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires (hypertension, insuffisance cardiaque, etc.), maladies mentales (épilepsie, etc.), problèmes ophtalmiques (altération handicapante de la vue, glaucome, etc.), de troubles respiratoires sévères ou dôasthme à lôeffort sont exclues de lôétude, pour limiter au maximum le risque dôaccident pendant les trajets.

Enfin, un critère dôinclusion mentionné lors de lôappel à volontaires est dôêtre un cycliste bruxellois, côest-à-dire de se déplacer régulièrement à vélo à Bruxelles, sans définir pour autant un quelconque critère de régularité des déplacements à vélo. Il semblait important à lôintervenant de sélectionner des participants habitués à circuler en voirie à Bruxelles et ce de manière à faciliter lôexécution de lôétude de terrain.

Sur les dix-huit volontaires ayant manifesté le souhait de participer au projet de recherche, seize ont parcouru les deux itinéraires, un a seulement parcouru lôitinéraire HIGH et un autre uniquement le LOW.

3.3.3. Localisation de lôétude

Lôétude sôest déroulée en RBC, une région urbaine dôun peu plus de 1,16 million dôhabitants au premier janvier 2014 (IBSA, 2014), située en zone climatique tempérée.

Les itinéraires ont été répartis sur douze jours de semaine entre les 7 et 28 mars 2014.

3.3.4. Itinéraires

Deux boucles différentes ont été parcourues par les volontaires au cours de lôétude de terrain. Voici les critères étant rentrés en compte dans la conception des itinéraires HIGH et LOW, ainsi que la manière dont leur tracé a été effectuée. Les itinéraires sont décrits en détails dans la section des résultats leur étant consacrée.

Une attention particulière a été accordée au fait que les itinéraires reflètent le plus possible la réalité des déplacements domicile-travail à vélo à Bruxelles. Ainsi, selon une enquête réalisée en 2013 par lôassociation Pro Velo, 60% des déplacements domicile-travail à vélo à Bruxelles font jusquôà 5 kilomètres (km), la durée des déplacements domicile-travail étant estimée égale ou inférieure à 25 minutes pour trois quarts des 904 répondants (Pro Velo, 2014a :14). Dôaprès lôenquête Beldam, en

2010 la distance moyenne des déplacements domicile-travail internes à Bruxelles est de 5,2 km, tous modes de transports confondus (Cornelis et al, 2010 : 210).

Les deux itinéraires sont de longueurs égales, et de dénivelés comparables. Ils ont tous été parcourus pendant lôheure de pointe du matin, entre 8 et 9 heures. Pour des raisons de faisabilité, en concertation avec le promoteur, monsieur Int Panis et Evi Dons (communication personnelle le 20 janvier 2014), il a été opté pour un choix dôitinéraires en forme de boucles ayant le même point de départ et dôarrivée, situé à proximité dôun local mis à disposition de lôintervenant (voir point 3.3.11). Cela permet en effet dôintégrer à lôexécution des parcours à vélo la partie de lôétude consacrée à la soumission des questionnaires et à lôexercice de rapportage sur carte explicités plus loin. Cette configuration en boucle des itinéraires parcourus pendant lôétude présente néanmoins une limitation importante : leur représentativité dôun trajet domicile-travail type à Bruxelles nôest pas garantie.

La carte publiée par le Service Public Fédéral Mobilité et Transports publiée en 2011 et reprenant les intensités moyennes journalières de trafic en 2009 sur la Petite Ceinture de Bruxelles et les voiries dôaccès (SPF-MT, 2011 :43) a été utilisée pour évaluer lôintensité du trafic automobile sur les voiries empruntées au cours des itinéraires. Cette intensité a servi de critère à la base du tracé différencié de lôitinéraire HIGH et du LOW : au cours du second, les voiries à forte intensité de trafic sont évitées au maximum. Il a également été tenu compte de la spécialisation des voiries (RBC, 2013).

Les boucles ont été tracées à lôaide de Google Maps (Google, 2014), et testées à trois reprises à lôaide du GPS lié à lôapplication pour smartphone Runtastic Pro mentionnée au point 3.3.9.

Les itinéraires LOW et HIGH ont chacun été filmés une fois à lôaide dôune caméra portable de marque GoPro, modèle HERO3+ (GoPro, Etats-Unis dôAmérique) fixée sur un casque porté par lôintervenant (voir figure 3.6) : le 11 mars 2014 pour le LOW et le 14 mars 2014 pour le HIGH. Le visionnage des enregistrements filmés a permis dôobjectiver les événements survenus au cours des trajets effectués à ces deux dates.

3.3.5. Qualité de lôair

3.3.5.1. Mesures mobiles dôexposition

Pour évaluer lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair au cours des différents trajets effectués, deux types de polluants particulaires ont été mesurés à lôaide dôappareils de prises de mesures

instantanées : le Black Carbon et les particules fines (PM2,5). Deux appareils portables ont été agencés sur une bicyclette, constituant un équipement mobile[3]. Lôensemble est décrit ci-après.

3.3.5.1.1. Black Carbon

Lôexposition des cyclistes au Black Carbon (Carbone Suie) a été mesurée grâce à un microAeth de modèle AE51 (AethLabs, Californie) prêté à lôintervenant par le Vlaams Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Le fonctionnement de lôappareil portable est comme suit : une pompe met en mouvement lôair, qui pénètre par un embout dôaspiration (voir figure 3.2) et passe à travers un filtre. Celui-ci noircit au contact de lôair chargé de particules au fur et à mesure de lôéchantillonnage. Cette variation de noirceur est mesurée à lôaide dôun système optique. Il en résulte une valeur dôatténuation prise à intervalle régulier. En se basant sur la Loi de Beer-Lambert, cette variation dôabsorbance est convertie en une concentration massique exprimée en nanogrammes par mètre cube (ng/m³) de Black Carbon. Cette conversion introduit un biais à la méthode, qui malgré cette limite constitue une bonne appréciation de lôexposition à la pollution issue du trafic routier (J. Landercy, communication personnelle le 9 mai 2014).

Lôappareil a été réglé comme suit : les mesures ont été prises à intervalles de dix secondes (10sec) et le débit dôair était de 150 millilitres par minute (ml/min).

Les filtres ont été changés toutes les deux sessions dôéchantillonnage (ou après deux trajets).

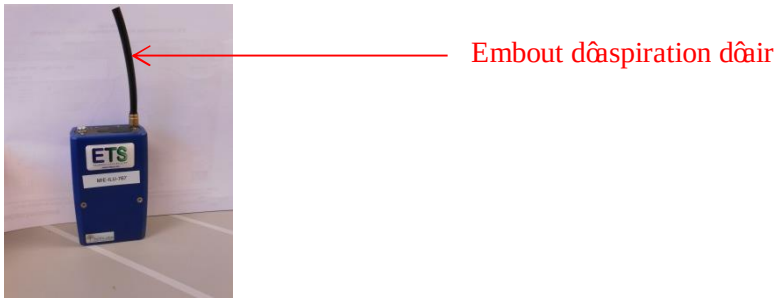


Figure 3.2 Le microaethalomètre

3.3.5.1.2. Particules fines

Les particules fines, ou PM2,5, ont été monitorées à lôaide dôun EVM-7, également appelé « Quest », de la marque 3M (3M Company, Canada), mis à disposition par le laboratoire de lØEcole de Santé Publique de lôULB. Lôappareil (voir figure 3.3) fonctionne par photométrie laser : lôair échantillonné est mis en mouvement à lôaide dôune pompe (débit de 1,67 litre par minute), pénètre dans lôappareil par une tourelle réglable permettant de sélectionner la taille maximum des particules que lôon souhaite

[3] Un troisième appareil, le Nano Tracer (Philips, Pays-Bas) a été utilisé pour mesurer les concentrations en nanoparticules. Les données récoltées nôayant pas été traitées, il nôen sera pas fait davantage mention ici.

mesurer. Lôair percute alors un impacteur en aval duquel seules les particules de taille inférieure ou égale au diamètre sélectionné sont entraînées par le flux dôair au travers dôun système de lecture optique. Celui-ci permet de déterminer une concentration massique exprimée en mg/m³ (milligrammes par mètre cube). Ici, le Quest a été réglé pour mesurer les particules de taille inférieure ou égale à deux micromètres et demi (PM2,5) sur des intervalles de trente secondes (30sec). Le constructeur de lôappareil garantit une sensibilité de mesure jusquôà 0,1µm (micromètre), ce qui signifie que les concentrations massiques exprimées ici ne tiennent compte que de particules de taille comprise entre 0,1 et 2,5µm.

Par soucis de cohérence avec lôunité utilisée dans la directive 2008/50/CE, les concentrations massiques de PM2,5 sont exprimées dans ce travail en µg/m³ (microgramme par mètre cube).

Il faut enfin avoir conscience que lôunité de concentration massique exprimée par le Quest est dérivée dôune technologie par lecture optique après application dôun algorithme, ce qui en soi introduit une limite fondamentale à la méthode utilisée (P. Vanderstraeten et J. Landercy, communication personnelle, 9 mai 2014)

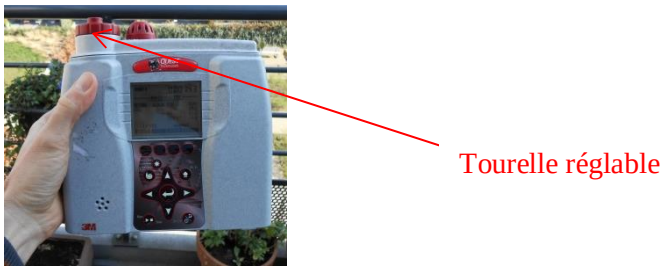


Figure 3.3 le Quest vu de face

3.3.5.1.3. Equipement mobile

Au cours des douze trajets parcourus, lôintervenant a effectué les mesures de qualité de lôair en circulant à lôaide dôun équipement mobile représenté sur les figures 3.4 et 3.5. Le dispositif décrit a été respecté scrupuleusement au cours de chaque trajet.

Lôintervenant a circulé sur un vélo pliable de marque Brompton (Brompton Bicycle Ltd, Londres). Le Quest a été placé dans un sac adapté à lôavant du vélo, de telle sorte que la tourelle du Quest dépasse de lôouverture supérieure du sac à une distance de 90 centimètres du sol. Lôappareil a été callé à lôaide de coussins enfouis dans une enveloppe en plastique étanche, de manière à amortir les chocs pendant des trajets, et à éviter lôémission de poussières par les coussins.

Le microaethalomètre a été placé dans la poche de poitrine gauche dôune veste portée lors de chaque itinéraire par lôintervenant, et ce de telle sorte que lôembout flexible dôaspiration dôair de lôappareil dépasse du côté droit de la poche et soit distant de 20 centimètres de la bouche de lôintervenant. Cette

disposition est sensée permettre dôéchantillonner de lôair ayant des caractéristiques proches de celui respiré par les cyclistes.

Le smartphone équipé de lôapplication Runtastic Pro a été fixé sur le guidon du vélo, à lôaide dôun support adéquat.

La caméra GoPro a quant à elle été attachée à la partie antérieure du casque porté par lôintervenant.

Figure 3.4 Installation des appareils

Figure 3.5 Position du microaethalomètre dans la poche de poitrine gauche de la veste

Lôéquipement mobile ainsi mis en î uvre fait en sorte que lôéchantillonnage de lôair au cours des itinéraires parcourus se fasse dans des conditions proches de lôémission.

Les mesures effectuées rendent donc compte de lôexposition de lôintervenant à la pollution de lôair. De manière à pouvoir considérer ces mesures comme étant également représentatives de lôexposition des

volontaires, ceux-ci ont effectué les trajets en restant groupés à proximité de lôintervenant circulant avec lôéquipemement mobile.

3.3.5.2. Mesures de la qualité de lôair du réseau télémétrique bruxellois

Parallèlement aux mesures dôexposition effectuées grâce au dispositif expérimental mis en î uvre, la qualité de lôair a été suivie sur le site en ligne de la Cellule Interrégionale de lôEnvironnement (IRCELINE, 2014) et ce chaque jour où un itinéraire a été parcouru. Lôindice global de qualité de lôait (Belatmo) y a été relevé, ainsi que les concentrations moyennes de PM2,5 sur vingt-quatre heures pour la station 41R001, située à Molenbeek. Les concentrations moyennes de Black Carbon sur vingt-quatre heures pour la même station ont été fournies par la Cellule Interrégionale de lôEnvironnement sur demande de lôintervenant. Les valeurs relevées à cette station sont représentatives de lôexposition dôune zone habitée proche du trafic et dôactivités industrielles (IBGE, 2012b : 1.10). Elles correspondent à des conditions à lôimmission, cô est-à-dire que les polluants y étant mesurés ont subi un processus de diffusion, ce qui est représentatif de la qualité de lôair globale à laquelle est exposée la zone où est implantée la station. Les appareils de mesure du réseau télémétrique réalisent des moyennes bi-horaires, cô est-à-dire quôils fournissent une mesure par demi-heure.

Les valeurs moyennes sur vingt-quatre heures de Black Carbon et de PM2,5 relevées à la station de Molenbeek ont servi dôétalon pour le traitement des données relevées avec le dispositif expérimental. Lôobjectif de cette méthode est de pouvoir générer des données relatives et de comparer entre eux les résultats obtenus lors de trajets effectués des jours différents.

Lôindice Belatmo, bien quôayant une valeur purement indicative, a été relevé pour apprécier de façon globale lôévolution de la qualité de lôair en RBC tout au long de la période durant laquelle sô est déroulée lôétude de terrain.

3.3.6. Données météorologiques

Les conditions météorologiques exercent une influence majeure sur la qualité de lôair. Elles ont été récoltées sur le site de lôInstitut Royal Météorologique (IRM, 2014) pour chacun des douze trajets parcourus. Ainsi, la température[4], humidité relative, vitesse et direction du vent, pression atmosphérique et type de temps observés à la station dôUccle à huit heures du matin, ont été notés par lôintervenant. Ces données permettent dôobjectiver les conditions météorologiques dans lesquelles les douze trajets ont été effectués.

3.3.7. Questionnaire

[4] Sous abri, à 1,5 mètre du sol

Lors de chaque jour de trajet, les dix-huit volontaires ont rempli un questionnaire administré par lôintervenant par écrit : ils disposaient chacun dôun exemplaire papier du questionnaire, lôintervenant étant à leur disposition pour les aider si nécessaire. Un exemplaire du questionnaire est disponible en annexe. Il est constitué de trois parties A, B et C. La partie A, administrée avant le départ, a pour objectif de vérifier si les volontaires remplissent les critères dôinclusion.

La partie B, administrée après chaque retour, comprend une liste de questions ayant trait à lôauto-rapportage de symptômes éventuellement ressentis par les volontaires au cours du trajet parcouru. Ces questions ont été rédigées en sôinspirant dôune liste établie par lôAmerican Thoracic Society (ATS, 2000). A la fin de cette partie, les volontaires étaient invités à effectuer un exercice de report sur carte des symptômes ressentis élaboré par lôintervenant (voir point 3.3.8.).

La partie C, administrée après le retour de lôexercice à vélo, comporte trois sous parties : les renseignements signalétiques, des questions sur les habitudes de déplacement à vélo (librement inspirées de lôenquête réalisée en 2013 par Pro Velo ï Pro Velo, 2014a), et enfin des questions liées à la qualité de lôair et à la pratique du vélo, destinées à sonder les attitudes des volontaire par rapport à la problématique traitée ici. Cette dernière série de questions a été administrée après chaque retour de trajet, alors quôil a été annoncé aux volontaires que lôentièreté de la partie C ne serait administrée quôaprès le retour du premier trajet. Lôobjectif était de surprendre les volontaires et de vérifier si les réponses fournies à cette série de questions seraient identiques après avoir effectué le trajet HIGH et le trajet LOW.

Seize volontaires ayant effectué les deux trajets, ceux-ci ont rempli les parties A et B du questionnaire deux fois, ainsi que les questions liées à la qualité de lôair et à la pratique du vélo. Les renseignements signalétiques et les questions sur les habitudes de déplacement à vélo ont été remplis par les dix-huit volontaires.

3.3.8. Exercice de report des symptômes sur carte

Après le retour de chaque itinéraire, un exercice de report sur carte des symptômes éventuellement ressentis a été proposé aux volontaires. Cet exercice a été mis au point par lôintervenant. Il se trouve en fin de partie B du questionnaire.

Une carte du trajet venant dôêtre effectué est proposée au volontaire, et il lui est demandé dôy localiser les endroits où des symptômes ont été ressentis. Lôintervenant, après chaque retour, rapporte en parallèle sur une même carte les événements survenus pendant le trajet venant dôêtre effectué : une zone de trafic intense, un événement ponctuel (un camion qui passe par exemple), ou une zone le trafic est ralenti (par un feu, des travaux). Ceci permet dôobjectiver au maximum les événements pouvant éventuellement expliquer lôapparition de symptômes rapportés par les volontaires (associer une odeur rapportée à un camion qui passe par exemple).

Cet exercice comporte de nombreuses limites. En effet, il fait appel à la mémoire des volontaires et de lôintervenant, à leur capacité à maintenir une attention soutenue tout le long du trajet, à la capacité à lire une carte et dôassocier à un lieu dans lôespace où un événement sôest produit à une zone représentée sur une carte.

Bien que ne pouvant pas assurer le contrôle absolu de ces limites, lôintervenant a néanmoins tenté dôen minimiser la portée. Ainsi, avant chaque départ, lôexercice a été expliqué ainsi que la carte du trajet à parcourir au cours dôune brève présentation. Lôintervenant a de plus accompagné les volontaires au cours des trajets, et les a invités à sôadresser à lui si son aide était requise pour localiser un événement sur le parcours du trajet.

Le traitement des informations récoltées ainsi est décrit ici. Les symptômes et événements y étant éventuellement associés ont été reportés par lôintervenant sur une seule carte par trajet. Ensuite, les douze cartes en résultant ont été séparées par type dôitinéraire : six cartes HIGH et six cartes LOW. Finalement, les informations ont été intégrées sur deux cartes censées représenter lôune un itinéraire HIGH type, et lôautre un itinéraire LOW type. Le traitement plus détaillé des données obtenues par cette méthode est présenté au point 4.1.1.

3.3.9. Géolocalisation

Lôapplication pour smartphone Runtastic Pro (Runtastic Gmbh, Autriche) installée sur lôéquipement mobile, utilise un système de géolocalisation permettant de connaître la vitesse de déplacement de lôintervenant et le dénivelé en chaque point du trajet.

3.3.10. Journal de bord

Un journal a été tenu par lôintervenant tout au long de la période de mise en î uvre de lôétude de terrain (mars 2014). Non seulement lôactualité médiatique relative à la qualité de lôair y a été suivie, un portfolio de photographies a été réalisé, mais encore les différentes réflexions de lôintervenant suscitées par les rencontres avec les volontaires y ont été soigneusement notées.

3.3.11. Déroulement de lôexercice

Voici le déroulement dôune matinée type dôexercice dans lôordre chronologique :

« Le rendez-vous est fixé chaque jour à 7h45 dans un local mis à disposition de lôintervenant par lôIGEAT, sis au 145 de lôavenue Adolphe Buyl à 1050 Bruxelles.

Avant lôarrivée des participants, lôintervenant dispose les appareils portables tel quôexplicité aux figures 3.4 et 3.5.

Une fois tous les volontaires présents (avec un maximum de quatre par matinée), lôintervenant leur soumet la partie A du questionnaire, de manière à vérifier que personne ne présente de critère dôexclusion[5] à lôétude. Ensuite, chacun remet à lôintervenant un exemplaire signé du formulaire dôinformation et de consentement éclairé reçu par courriel au préalable.

Lôintervenant procède à une présentation du déroulement de la matinée. Il détaille ensuite le trajet devant être effectué ce jour à lôaide dôun poster affiché au mur du local et insiste particulièrement sur lôimportance non seulement dôêtre attentif aux signes ou symptômes éventuellement ressentis pendant le trajet, mais encore dôêtre capable dôen mémoriser lôendroit dôoccurrence sur lôitinéraire cartographié. Il prodigue encore quelques conseils de sécurité à suivre pendant le trajet.

Lôintervenant conduit les volontaires au point de départ de la boucle et branche les appareils de lôéquipement mobile. Les volontaires ont le choix dôutiliser leur propre bicyclette sôils se sont rendus au lieu de rendez-vous à vélo, ou une des quatre bicyclettes mise à disposition par lôintervenant.

Le trajet sôeffectue en restant le plus proche possible de lôintervenant, qui reste attentif aux événements objectivables pouvant survenir et devant être reportés sur la carte lui étant destinée. Il tâche encore dôêtre disponible aux demandes dôaide des volontaires.

Au retour, les appareils sont débranchés. Les volontaires et lôintervenant regagnent le local.

Les parties B et C du questionnaire sont soumises aux volontaires ainsi que lôexercice de rapportage sur carte. Lôintervenant note pendant ce temps les observations météorologiques publiées sur le site de lôIRM (2014), et les caractéristiques du trajet parcouru (vitesse moyenne et durée), en veillant à fournir lôaide éventuellement sollicitée par les volontaires.

En fin dôexercice, un échange informel et non prévu sur lôexpérience venant dôêtre vécue a lieu entre volontaires et intervenant, et ce de manière presque systématique. Lôexercice terminé aux environs de neuf heures, lôintervenant prend note dans le journal des remarques et réflexions nées de cet échange, de manière à nourrir dôinformations qualitatives les résultats obtenus par le biais des questionnaires. »

3.4. Entretiens semi-dirigés dôexperts

Afin de non seulement procéder à la récolte dôinformations utiles à lôavancement de la recherche, mais encore de mettre au point un protocole de recherche de terrain pertinent, la nécessité de faire appel à lôexpertise de différents acteurs-clés sôest très rapidement imposée.

[5] Aucun volontaire nôa dû être exclu de lôétude de terrain.

Ainsi, six acteurs ont apporté leur expertise dans leur domaine professionnel respectif. Bas de Geus, professeur au département de physiologie humaine de la Faculté dôEducation Physique et Kinésithérapie de la Vrije Universiteit Brussel, a été contacté pour avoir participé à lôétude Shapes (Int Panis et al, 2011), ainsi que Luc Int Panis, chercheur au VITO et conférencier à lôUniversité dôHasselt.

Frederik Depoortere a quant à lui été rencontré en sa qualité de manager vélo de la RBC. Lôobjectif de cette rencontre était dôobtenir des renseignements en matière de politique cyclable en RBC.

La problématique du vélo et de la qualité de lôair vue par une association professionnelle soutenant les intérêts des cyclistes a été abordée en rencontrant Etienne Holef, directeur administratif et financier et contact recherche et développement de lôassociation Pro Velo.

Pour mieux comprendre comment sont réalisées et traitées les mesures de qualité de lôair sur le réseau télémétrique bruxellois, messieurs Peter Vanderstraeten et Jean Landercy du Laboratoire Air de lôIBGE ont enfin été rencontrés lors dôune visite dudit laboratoire.

Les entretiens ont été préparés à lôaide dôune grille dôentretien ad hoc disponible en annexe. Ils ont été enregistrés. Un compte-rendu détaillé de chaque entretien a ensuite été réalisé.

Les informations récoltées lors des entretiens ne sont pas ici présentées explicitement dans une section leur étant dédiée, mais intégrées tout au long du travail en mentionnant le nom de la personne et la date de lôentretien.

3.5. Traitement des données

3.5.1. Les données de qualité de lôair

Le dispositif mobile utilisé dans la présente recherche effectue lôéchantillonnage de lôair local dans conditions très fluctuantes, dues à la fois aux conditions météorologiques variables, à la géomorphologie de lôenvironnement parcouru, mais également aux différents types dôévénements survenant au cours des trajets : variations de lôintensité du trafic, ou secousses subies par les appareils par exemple. En outre, en cas de courtes périodes dôexposition utilisées dans le monitoring environnemental, il est recommandé de réaliser des échantillonnages à intervalles très rapprochés (10 secondes pour le Black Carbon et 30 secondes pour les PM2,5), ce qui augmente le bruit de fond dans les données récoltées.

Il sôest donc avéré indispensable de tenter de pallier à ces biais en corrigeant les données récoltées. Ainsi, pour le Black Carbon les données brutes ont été corrigées par le logiciel ONA (Opitmized Noise-reduction Averaging), recommandé par lôéquipe de chercheurs du VITO (In Panis, L. et Dons, E., communication personnelle le 27 février 2014) et par lôEnvironmental Protection Agency (EPA) (Hagler et al, 2011).

Le logiciel de traitement des données développé par le constructeur du Quest a également été utilisé pour préparer lôanalyse des mesures de PM2,5 récoltées (Detection Management Software, 3M Company, Canada). Seules les concentrations moyennes en PM2,5 par intervalle de 30 secondes ont été utilisées ici.

Le traitement statistique des données a été réalisé à lôaide du logiciel tableur Excel 2010 (Microsoft Corporation, Etats-Unis dôAmérique).

De manière à pouvoir comparer des données récoltées dans des conditions générant un nombre important dôincertitudes, un indicateur synthétique dôexposition cumulée a été développé. La **charge cumulée par trajet** est obtenue en intégrant lôensemble des concentrations instantanées récoltées sur toute la durée dôun trajet. Autrement dit, il sôagit de calculer lôaire qui se trouve entre la courbe dôun graphe et lôaxe des abscisses. Ensuite, les concentrations moyennes sur vingt-quatre heures de Black Carbon et de PM2,5 relevées les jours de trajets à la station de référence 41R001 située à Molenbeek-Saint-Jean, ont été soustraites aux concentrations obtenues à lôaide des appareils mobiles. Ces données sont disponibles en annexe. Lôobjectif de cette méthode nôest pas de rendre compte de la quantité de polluants auxquels les cyclistes sont exposés pendant leurs trajets, mais bien de fournir un indicateur synthétique à valeur théorique autorisant lôexercice de comparaison entre situations différentes.

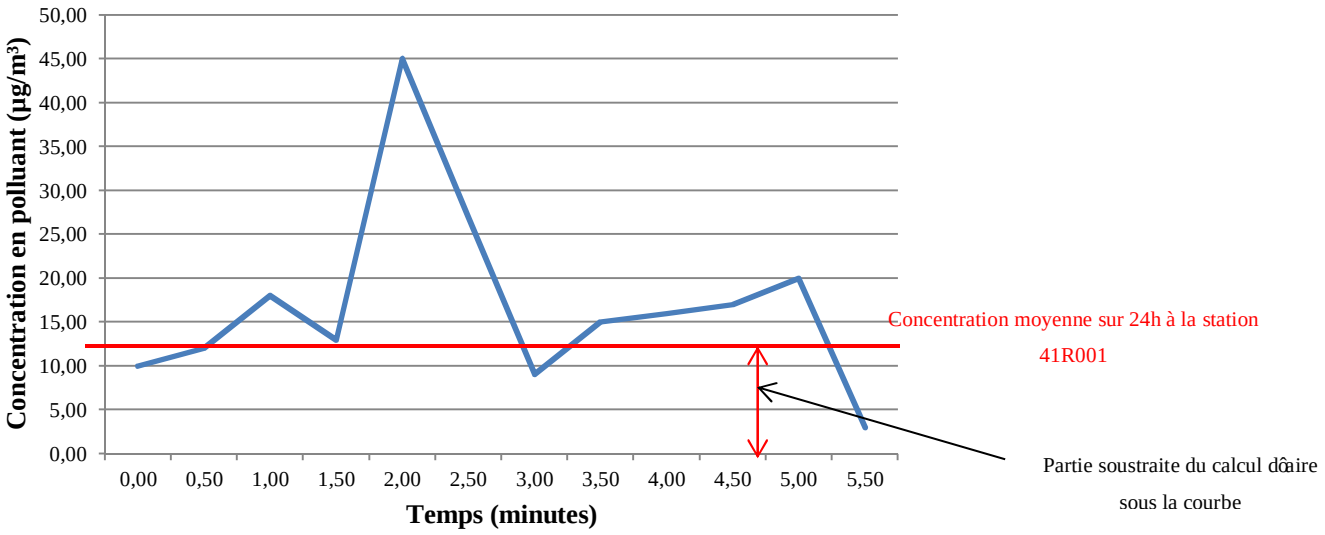


Figure 3.6 : Principe de la méthode utilisée pour calculer la charge cumulée par trajet

3.5.2. Les questionnaires

Etant donnés la petite taille de l'échantillon de volontaires ayant participé à l'étude, le mode d'administration des questionnaires et le dispositif particulier à l'étude de terrain, les données recueillies grâce aux questionnaires ont été traitées presque qualitativement. En effet, la participation active des volontaires a été l'occasion d'étoffer l'information recueillie en la croisant avec des comportements observés ou des paroles échangées, le tout en tentant de maintenir un regard critique. Les données ont été introduites dans un tableur Excel de manière à en effectuer un traitement statistique.

3.5.3. Les autres données

Le mode de traitement des autres données est explicité au fur et à mesure du document.

4. Résultats et interprétation

4.1. Revue de la littérature

L'objectif de la présente revue de littérature a d'abord pour objectif de faire le point sur l'état des connaissances scientifiques permettant d'évaluer les effets de la pollution de l'air sur la santé des cyclistes. Ensuite, un point est consacré à la façon dont la santé, et en particulier les aspects liés à la pollution de l'air, est prise en compte dans la politique cyclable à Bruxelles

4.1.1. Les types de polluants importants à Bruxelles

De nombreux types de polluants influencent la qualité de l'air en milieu urbain. Leur importance respective dépend notamment du type de secteurs d'activités présents en ville, ou dans sa périphérie. Bruxelles est un exemple typique de ville désindustrialisée, où les sources internes principales de polluants atmosphériques sont liées à la présence du transport et au chauffage en période hivernale (IBGE, 2006). Il ne faut pas pour autant négliger l'importance des sources de pollution externes à la ville, comme en témoignent les épisodes de smog d'hiver dus aux activités d'épandage par le secteur agricole et à des conditions climatiques particulières (Vanderstraeten et al, 2010). D'après monsieur Vanderstraeten, seuls 10% de la pollution totale de type particulaire à Bruxelles seraient attribuables au trafic, le reste proviendrait de sources extérieures (communication personnelle, le 9 mai 2014).

D'après le rapport de Bruxelles Environnement (IBGE) faisant le bilan des mesures à l'émmission en RBC, les principaux polluants présents dans l'air extérieur respiré par les Bruxellois seraient : l'ozone

(O_3), les oxydes dôazote (NOx), les particules fines (PM10, PM2,5 et Black Carbon), et les composés organiques volatiles (COV)[6] . Les concentrations en dioxyde de soufre (SO_2) sont en nette diminution depuis la fin des années soixante (IBGE, 2012).

Ce même rapport indique les secteurs domestique et industriel comme source principale de pollution aux composés organiques volatiles. Lôozone, polluant secondaire formé à partir dôoxydes dôazote et de COV, pose surtout des problèmes en cas de situation météorologique particulière. Les oxydes dôazote trouvent principalement leur source dans les émissions liées au transport, et surtout si la flotte de véhicules circulant au diesel est importante (IBGE, 2012).

4.1.2. Particules fines et santé

Lôobjet de lôétude est de mesurer les concentrations en PM2,5 et en Black Carbon au cours de deux trajets parcourus à vélo. Le choix de ces polluants particulaires est lié dôune part au fait que le Black Carbon soit très bien corrélé à la proximité du trafic (Vanderstraeten et al, 2011) que le suivi de ses concentrations par un dispositif mobile est relativement aisé, dôautre part au fait que les PM2,5 soient de plus en plus décriées par le monde scientifique comme étant problématique pour la santé humaine de par leurs effets sur le système cardio-vasculaire et respiratoire (Barret, 2013 ; Beelen et al, 2013 ; Brook et al, 2010 ; Giles et Koehle, 2013 ; Int Panis et al, 2011 ; Louwies et al, 2013 ; Nyhan et al, 2012 ; Oberdörster et al, 2005 ; Perez et al, 2013 ; Peeters et al, 2004 ; Weichenthal et al, 2011 et Zuurbier et al, 2011).

La pollution aux particules fines est très complexe à étudier. Il sôagit dôune catégorie de polluants désignée par des caractéristiques de taille. Les mesures de concentrations effectuées par le réseau télémétrique bruxellois nôindiquent rien sur leur composition chimique. Le Black Carbon nôa aucune définition physico-chimique, mais opérationnelle. La taille des particules le composant sont comprises entre 10 et 150 nanomètres (Landercy, communication personnelle le 9 mai 2014).

En fonction des tailles différentes des particules fines, celle-ci pénètrent plus ou moins profondément dans lôarbre respiratoire. Ainsi, les particules de taille inférieures à 0,1 micromètre atteignent facilement les alvéoles pulmonaires (Oberdörster et al, 2005).

4.1.3. Pollution de lôair et activités physiques

Le problème principal lié à la pratique dôune activité physique en environnement urbain réside dans le fait que lorsque lôon pratique un effort, le rythme cardiaque et le débit dôair respiré augmentent, ce qui

[6] Le CO_2 nôest pas considéré comme un polluant

a pour conséquence dôaugmenter la dose de polluants à laquelle est soumise la personne pratiquant un exercice (Bas de Geus, communication personnelle, le 29 octobre 2010 ; Mermier et al, 1993 ; Nyhan et al, 2014).

4.1.4. Vélo et pollution

De nombreuses études sôattachent à évaluer lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair (Boogaard et al, 2009 ; Bos et al, 2013 ; Cole ï Hunter et al, 2012 ; Cole-Hunter et al, 2013 ; de Nazelle et al, 2012 ; Hatzopoulou et al, 2013 ; Hertel et al, 2008 ;Int Panis et al, 2011 ; Jarjour et al, 2013 ; Kendrick et al, 2011 ; Knibbs et al, 2011 ; Mac Naughton et al, 2014 ; Strak et al, 2010 ; Weichenthal et al, 2011 ; Weichenthal et al, 2012 ; Zuurbier et al, 2009 ; Zuurbier et al, 2011). Plus le cycliste circule près du trafic, plus son exposition est importante. Le fait dôemprunter un itinéraire éloigné de la circulation automobile diminue lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair local. Le fait dôaugmenter lôintensité de lôeffort fourni va augmenter la dose à laquelle le cycliste est exposé.

4.1.5. Vélo et santé

La plupart des auteurs sôaccordent à montrer que les avantages de la pratique du vélo dépassent largement les inconvénients liés au fait dôexercer cet effort dans un environnement pollué (De Hartog et al, 2010 ; Oja et al, 2011 ; Teschke et al, 2012). Cependant, les analyses dôimpacts ne prennent en compte que la mortalité et pas la morbidité. Aucune étude ne permet dôexclure totalement la présence dôun risque au niveau individuel. Ces études (sauf Oja et al, 2011) sont basées sur des analyses coût-bénéfice permettant dôévaluer un impact au niveau de la société. Il semble dès lors évident que, vus les coûts liés à lôobésité et au manque dôexercice physique dans la société occidentale, le vélo sorte gagnant à tous les coups. En effet, tous les auteurs sôaccordent à dire quôil serait très avantageux dôinvestir dans une politique favorisant les modes de transports actifs (marche et vélo) en termes de coûts de santé publique (Barton et al, 2009 ; Brown et al, 2013 ; De Hartog et al, 2010, Int Panis et al, 2011 ; Macmillan et al, 2014 ; Newman et Matan, 2012 ; Oja et al, 2011 ; Pucher et Buehler, 2010 ; Rydin et al, 2012 ; Teschke et al, 2012 ; Wernham, 2011).

4.1.1. Incertitudes

Cependant, au niveau individuel, de nombreuses incertitudes existent encore. Mis à part les bénéfices sanitaires liés à la pratique régulière dôune activité physique, rien ne permet dôexclure avec certitude la présence de risques liés à lôexposition individuelle des cyclistes à la pollution de lôair. Certaines études montrent de faibles variations de marqueurs inflammatoires suite à une brève exposition de cyclistes à certains polluants atmosphériques (Bos et al, 2013 ; Giles et al, 2013 ; Jacobs et al, 2010 ; Weichenthal et al, 2011 ; Weichenthal et al, 2012, Zuurbier et al, 2011). Or deux études de cohorte montrent que les

effets néfastes de la pollution sur la santé humaine ne se manifestent quà long terme (Beelen et al, 2013 ; Perez et al, 2013). Aucune étude montrant les effets à long terme de lexposition à la pollution de lair sur la santé des cyclistes na pu être trouvée par létudiant.

4.1.2. Prise en compte de la santé dans la politique cyclable à Bruxelles

Suite à deux entretiens dexperts et à lanalyse du Plan Vélo 2010-2015 de la RBC, il a été constaté que limpact de la qualité de lair sur la santé des cyclistes nest pas pris en compte directement dans la politique cyclable à Bruxelles (Depoortere, communication personnelle le 7 novembre 2013 ; Holef, communication personnelle, le 5 mai 2014 ; Bruxelles Mobilité, 2011).

Les experts rencontrés font référence à létude Shapes (Int Panis et al, 2011) et à loutil HEAT danalyse dimpact développé par lOrganisation Mondiale de la Santé (WHO, 2011) pour considérer limpact de la pratique du vélo sous un angle à priori positif.

Enfin, F. Depoortere fait mention des cinq critères définissant la cyclabilité et servant de base à la mise en î uvre de la politique cyclable bruxelloise (Cohérence, rapidité, attractivité, sécurité et confort). Cette mise en î uvre se traduit au niveau régional par lélaboration dun réseau ditinéraires cyclables régionaux tentant de respecter au mieux les critères de cyclabilité (Bruxelles Mobilité, 2014).

4.1.3. Synthèse

Lanalyse de la littérature et la rencontre dexperts permet de se rendre compte que les impacts du vélo sur la santé des cyclistes sont vus sous un angle a priori positif, en faisant appel à une méthode danalyse coût-bénéfice ne prenant en compte que la mortalité (accidents de la route inclus).

La plupart des études parcourues sattachent à tenter de montrer les effets dune exposition de courte durée sur la variation de paramètres de santé des cyclistes. Les variations montrées sont infimes.

De nombreuses incertitudes existent encore quant aux effets individuels dune exposition des cyclistes à la pollution de lair à long terme.

Les politiques cyclables bruxelloises semblent ne pas prendre en compte la pollution de lair, mais se basent davantage sur la définition de la cyclabilité en cinq critères.

4.2. Les itinéraires

4.2.1. Présentation

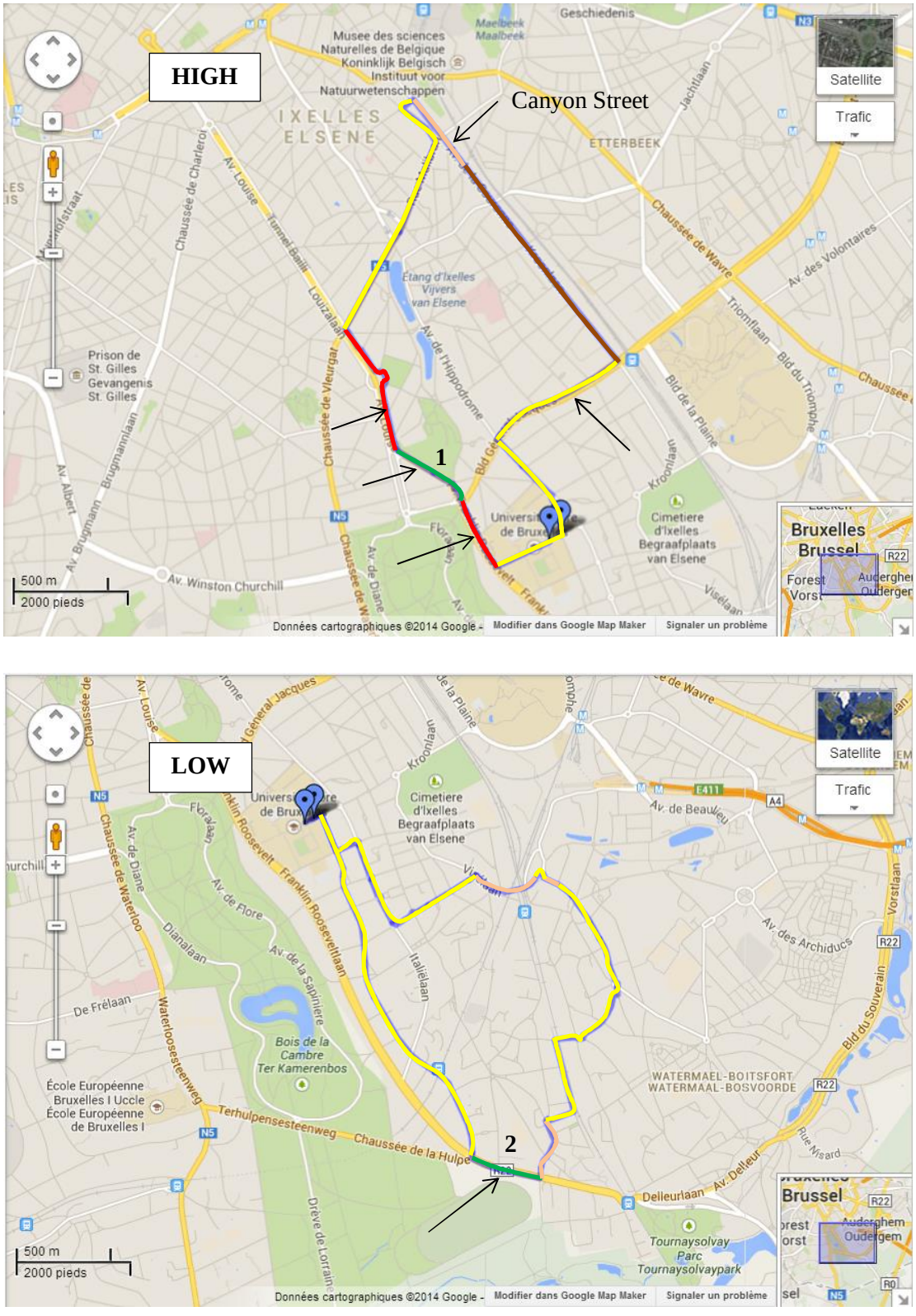


Figure 4.1 : Cartes des itinéraires HIGH et LOW

Légende : Aucun marquage : Bande cyclable suggérée :

Piste cyclable marquée : Bande bus ouverte aux cyclistes :

Piste cyclable séparée : Zone à trafic dense :

1 : large trottoir partagé avec les piétons, séparé de la chaussée par un alignement de platanes

2 : une double voie de tram en site propre sépare la piste cyclable du trafic motorisé.

Tableau 4.1 Carte dõidentité des deux trajets

	HIGH	LOW
Longueur (km)	6,5	6,6
Altitude maximum (mètres)	108	109
Altitude minimum (mètres)	62	71
Dénivelé (mètres)	46	38
Vitesse (km/h)	12 ± 1	11 ± 1
Durée (min)	35 ± 2	31 ± 3
Température (C°)	5,8 ± 1,8	5,7 ± 2,5
Humidité Relative (%)	89 ± 5	76 ± 12
Vitesse du vent (km/h)	8 ± 3	11 ± 5
Pression atmosphérique (hPa)	1021 ± 6	1020 ± 8

Vitesses, durées, températures, humidités relatives, vitesses du vent et pressions atmosphériques correspondent aux moyennes et écart-type

Voie métropolitaine (%)	37	5
Voie principale (%)	28	0
Voie interquartier (%)	15	17
Collecteur de quartier (%)	9	26
Rues locales(%)	11	52

Proportion de types de voiries empruntée en fonction de la hiérarchisation de voirie définie dans le Titre VII du Règlement Régional dõUrbanisme (RRU)

Les cartes reprises à la figure 4.1 représentent les deux itinéraires parcourus et les types d'aménagements cyclables prévus le long des deux trajets empruntés. Chaque trajet a été emprunté six fois, entre le 7 mars et le 28 mars 2014 inclus. Ils forment deux boucles, c'est-à-dire que le départ et l'arrivée des trajets sont confondus en un seul point, identique aux deux itinéraires. Ce point est situé avenue Paul Héger, 42 à 1000 Bruxelles.

L'itinéraire HIGH sillonne les communes d'Ixelles et de Bruxelles-Ville, alors que le LOW passe par les communes d'Ixelles et de Watermael-Boitsfort.

Comme indiqué dans le tableau 4.1, ils sont de longueurs égales, à cent mètres près, et de dénivelés comparables. La vitesse moyenne et la durée moyenne mise par les volontaires et l'intervenant pour parcourir les deux itinéraires sont aussi très proches.

Les conditions météorologiques étaient très stables pendant toute la durée de l'étude de terrain, mis à part une humidité relative et des vitesses de vent légèrement plus variables lors des mesures effectuées au cours des itinéraires LOW.

La dernière partie du tableau 4.1 présente les pourcentages de types de voiries empruntées au cours de chaque trajet, en suivant la hiérarchisation de voirie définie par le Règlement Régional d'Urbanisme (RRU). On peut constater ainsi que l'itinéraire HIGH emprunte dans sa grande majorité des axes du réseau primaire (voies métropolitaines et principales) à forte densité de trafic. Le LOW par contre emprunte pour la plus grande part le réseau de quartier (collecteurs de quartier et rues locales), où les cyclistes sont mélangés au trafic lent et peu dense.

Il existe trois types d'aménagement cyclables pour permettre aux cyclistes de circuler en voirie (IBSR, 2007) :

- la piste cyclable séparée, offrant aux cyclistes une zone de circulation séparée physiquement du reste de la circulation,
- la piste cyclable marquée, permettant aux cyclistes de circuler sur une partie de la voirie délimitée par des marquages,
- la bande cyclable suggérée, lorsque les cyclistes partagent la voirie avec le reste de la circulation.

L'Institut Belge pour la Sécurité Routière, recommande d'aménager une piste cyclable séparée sur un axe routier où le trafic est rapide et dense, typiquement sur des voiries métropolitaines. Des pistes cyclables marquées sont indiquées si le trafic est dense et les vitesses modérées, ce qui est le cas des voiries principales et des voiries interquartiers. Les bandes cyclables suggérées sont parfois recommandées sur les voiries à trafic mixte, où la vitesse est réduite et la circulation peu dense (IBSR, 2007). Lorsque la largeur de voirie ne permet pas de mettre en î uvre un aménagement cyclable ad

hoc, la bande bus est souvent ouverte aux cyclistes, ce qui est le cas au niveau de lôavenue de la Couronne dans lôitinéraire HIGH (en marron sur la figure 4.1).

Ces trois types dôaménagements cyclables empruntés le long des deux trajets sont indiqués sur les cartes de la figure 4.1. Les zones de trafic dense sont aussi montrées sur la carte. Celles-ci ont été objectivées à lôaide dôune carte représentant les intensités moyennes journalières en 2009 sur la Petite Ceinture de Bruxelles et ses voiries dôaccès (SPF-TM, 2011). Ainsi, jusquôà 51500 véhicules passent par jour dans les deux sens au boulevard Général Jacques par exemple. Ces informations ont pour but non seulement de montrer quels types dôaménagement ont été empruntés par les cyclistes au cours des trajets LOW et HIGH, mais encore de visualiser sur la carte les endroits où ceux-ci ont été plus ou moins exposés à la pollution de lôair local, liée à la présence du trafic dont la densité et la proximité varient tout le long du trajet.

Les aménagements mentionnés aux points 1 et 2 sur les cartes de la figure 4.1 contribuent à éloigner les cyclistes du trafic et de ses émissions.

Une part infime des trajets[7] emprunte le réseau dôitinéraires cyclables régionaux (Bruxelles Mobilité, 2014). Côest la raison pour laquelle il nôest pas fait mention de ce réseau ici. Cela constitue de fait une limite de lôétude.

4.2.2. Synthèse

Les deux itinéraires bruxellois, bien quôétant de longueurs et dénivelés comparables, ont été conçus afin de soumettre les volontaires à deux situations urbaines très contrastées lôune avec lôautre. Ainsi, au cours de lôitinéraire HIGH ils ont parcouru principalement des axes routiers à forte densité de trafic, alors que la majeure partie des voiries empruntées le long de lôitinéraire LOW font partie du réseau de quartier, à circulation peu dense et lente.

Voyons maintenant si le dispositif mobile mis en place pour évaluer le niveau de pollution le long des deux trajets permet de mettre en évidence une différence dôexposition à la pollution de lôair local lorsque lôon se déplace à vélo sur chaque itinéraire.

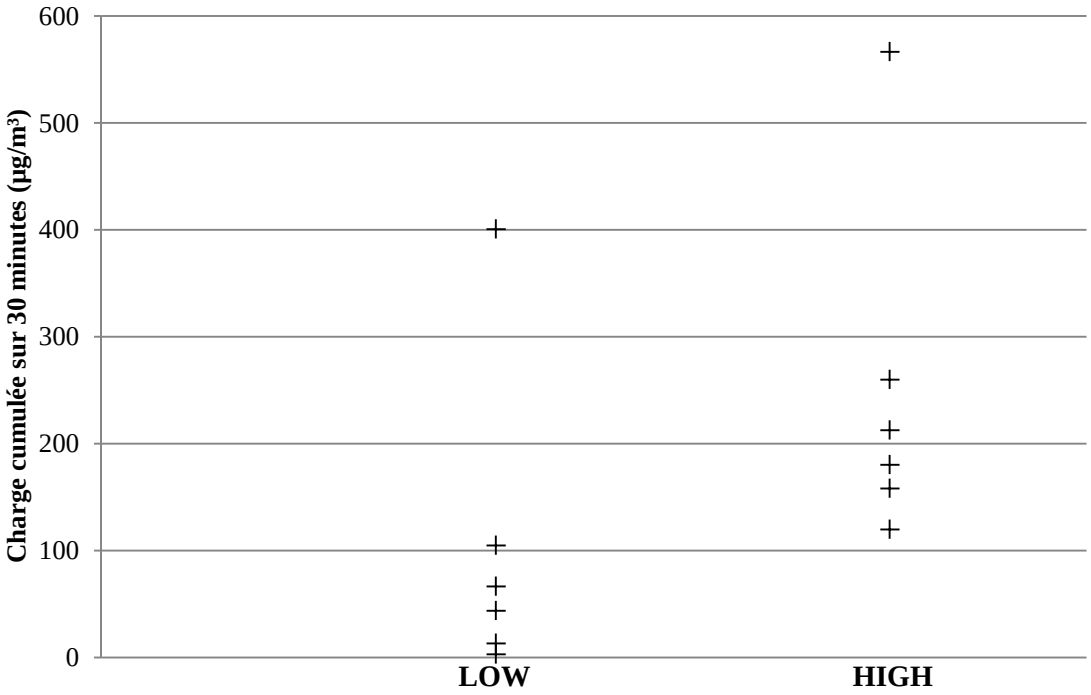
[7] Près de 700 mètres pour chaque boucle.

4.3. Les mesures dôexposition

4.3.1. La charge cumulée en polluant par trajet

4.3.1.1. Le Black Carbon

Figure 4.2: Charge cumulée en Black Carbon sur 30 minutes pour les itinéraires LOW et HIGH



Dates LOW	Charge cumulée en BC sur 30 minutes (µg/m³)
7-mars	3,38
10-mars	401
11-mars	13,27
20-mars	44
25-mars	66,6
27-mars	105,2

Total pour les 6 dates	633,45

Tableau 4.2: Charge cumulée en Black Carbon sur 30 minutes - Itinéraire HIGH

Dates HIGH	Charge cumulée en BC sur 30minutes (µg/m³)
13-mars	567
14-mars	212,8
17-mars	180,6
18-mars	120,1
24-mars	260,2
28-mars	158,4

Total pour les 6 dates	1499,1

Les résultats montrés ici à l'aide de l'indicateur de charge cumulée sont le fruit du traitement des données récoltées avec l'aethalomètre et faisant suite à leur lissage à l'aide du logiciel ONA (voir point 3.5.1 pour la construction de l'indicateur). Cet indicateur permet d'apprécier la charge en polluant qui été mesurée en parcourant un itinéraire entier. Afin de permettre la comparaison, chacun a été ramené à 30 minutes. Il est essentiel de rappeler ici que le Black Carbon exprime en fait une mesure optique du degré de noircissement d'un filtre traversé par l'air et non une concentration massique et ce, même si l'unité utilisée pour en exprimer la présence pourrait le suggérer (Jean Landercy, communication personnelle le 9 mai 2014).

La figure 4.2 montre la répartition des charges cumulées en Black Carbon sur une période de 30 minutes calculées pour chaque itinéraire parcouru. Les résultats sont groupés en fonction de l'itinéraire LOW et du HIGH. Les résultats détaillés peuvent être consultés sur les tableaux 4.2 et 4.3.

Deux valeurs sortent du lot, et ce aussi bien pour la situation HIGH que la situation LOW : celles du 10 mars et du 13 mars. On pourrait penser qu'elles soient liées au smog d'hiver ayant eu lieu durant la semaine du 10 au 14 mars. Il serait imprudent de tirer des conclusions trop hâtives : en effet d'une part le Black Carbon est davantage un bon indicateur de pollution liés aux phénomènes de combustion, donc à la proximité du trafic (Vanderstraeten et al, 2011), d'autre part, cet épisode de smog d'hiver est davantage liés à la présence dans l'air d'aérosols composés essentiellement de nitrate d'ammonium issus de sources extérieures à la région bruxelloise (P. Vanderstraeten, communication personnelle du 9 mai 2014). De plus, comment expliquer une relativement faible valeur de l'indicateur le 14 mars, en plein pic de smog ? Il faut aussi garder à l'esprit qu'un dysfonctionnement de l'appareil est toujours possible.

Mis à part ces deux cas exceptionnels dont on se gardera de bien de trouver une cause explicative, les autres valeurs sont relativement groupées en deux amas. Le total des charges cumulées au cours des 6

itinéraires HIGH est de loin supérieur au même total calculé pour les itinéraires LOW. Cette tendance s'accentue si l'on ne tient pas comptes des valeurs extrêmes[8].

On peut donc affirmer au vu de ces résultats que la charge cumulée en Black Carbon pour six trajets de trente minutes effectués en heure de pointe du matin à vélo au mois de mars 2014 est beaucoup plus importante en parcourant l'itinéraire HIGH que l'itinéraire LOW.

4.3.1.2. Les particules fines (PM2,5)

Figure 4.3 : Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes pour les itinéraires LOW et HIGH

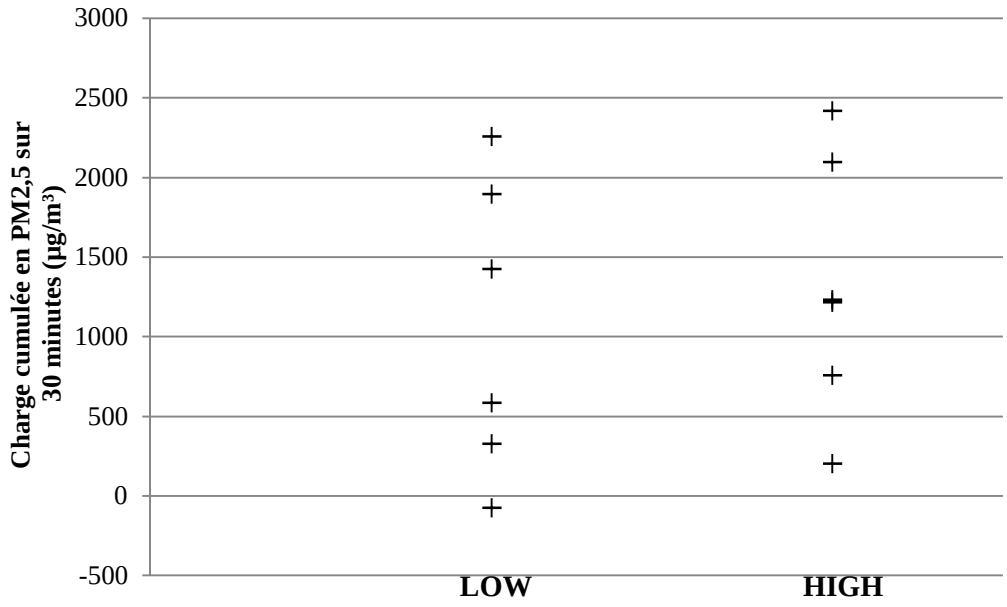


Tableau 4.3: Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes - Itinéraire LOW

Dates LOW	Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes (µg/m³)
7-mars	2260
10-mars	328
11-mars	1897
20-mars	-74
25-mars	585
27-mars	1424

Total pour les 6 dates	6420

[8] Total des LOW sans le 10 mars :232,45 µg/m³, total des HIGH sans le 13 mars : 932,1 µg/m³.

Tableau 4.4: Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes - Itinéraire HIGH

Dates HIGH	Charge cumulée en PM2,5 sur 30 minutes (µg/m³)
13-mars	2421
14-mars	1217
17-mars	1234
18-mars	759
24-mars	205
28-mars	2096

Total pour les 6 dates	7932

Lorsque lôon analyse sur la figure 4.3 la dispersion des charges cumulées en PM2,5 pour des durées dôexposition de 30 minutes au cours de trajets effectués sur les deux itinéraires parcourus, la différence entre les résultats obtenus au cours des deux types dôitinéraires est beaucoup moins frappante. Les totaux sont également comparables, même si le total obtenu en additionnant les charges cumulées au cours des six trajets est plus élevé dans le cas du trajet HIGH.

Ceci nôest pas vraiment surprenant dans la mesure où les phénomènes de pics de pollution aux particules fines sont nettement généralisés à lôensemble du territoire de la RBC, et proviennent pour leur plus grande part de sources extérieures à la région et dépendent donc moins de phénomènes locaux (Vanderstraeten et al, 2010).

On peut encore noter la valeur négative de la charge cumulée en PM2,5 pour la date du 20 mars. En effet, la moyenne de concentration sur vingt-quatre heures, récoltée à la station 41R001, et servant au calcul de lôindicateur proposé ici était à cette date supérieure à la plupart des valeurs mesurées par le dispositif mobile utilisé dans la présente étude. Or, dans le calcul de la charge cumulée, la valeur fournie par la station 41R001 est soustraite aux valeurs mesurées par le protocole expérimental[9].

[9] Cela correspond à une situation sur le graphe de la figure 3.6 où la droite est au-dessus de la plupart des points de la courbe.

4.3.2. Lôexposition aux polluants le long des deux trajets

Les données présentées au tableau 4.6 reprennent le résultat du traitement statistique des mesures dôexposition effectuées au cours des trajets.

Il faut préciser dôemblée que les données ont été lissées, ce qui est aussi le cas des valeurs limites. Celles-ci ne rendent donc pas compte des valeurs extrêmes pouvant survenir dans une situation réelle dôexposition.

Par contre, ces données nôont pas été mises en relation mathématique avec les moyennes fournies pour la station de Molenbeek-Saint-Jean.

Tableau 4.5: Moyenne, écart-type, médiane, valeurs limites et variance des deux polluants pour les trajets LOW et HIGH

Date		Polluant (µg/m³)	Moyenne ± ET	Médiane	Min	Max	Variance
LOW	7 mars	BC	4 ± 5,9	3	2	94	34
		PM2,5	120 ± 6	120	103	133	35
	10 mars	BC	20 ± 12	17,7	5	97,5	136
		PM2,5	66 ± 11	64	53	105	121
	11 mars	BC	3,8 ± 1,2	2,8	1,8	7,7	1,3
		PM2,5	133 ± 7	135	117	144	54
	20 mars	BC	2,8 ± 2,6	2,1	1	32	6,9
		PM2,5	15 ± 3	15	12	27	7
	25 mars	BC	5 ± 4,4	3,6	1,5	31	19,5
		PM2,5	46 ± 8	46	32	97	58
	27 mars	BC	8,8 ± 10,4	5,9	3,4	69,9	107,7
		PM2,5	86 ± 7	86	70	116	50
HIGH	13 mars	BC	25 ± 11	24,5	3,4	62,3	121,9
		PM2,5	167 ± 11	170	141	187	125
	14 mars	BC	10,3 ± 9,5	7,8	3,8	97,1	90,3
		PM2,5	125 ± 23	122	107	301	535
	17 mars	BC	7,8 ± 6,5	6,4	1,9	59,9	41,4
		PM2.5	73 ± 7	73	55	97	49
	18 mars	BC	5,1 ± 4,2	3,9	1,2	32	17,4
		PM2,5	46 ± 4	46	38	56	14
	24 mars	BC	10,4 ±10,4	7,2	1,8	81,4	10,8
		PM2,5	28 ± 8	21	13	73	66
	28 mars	BC	11,3 ± 6,4	9,4	4,2	37,7	40,3
		PM2,5	123 ± 11	124	91	171	123

Une première analyse des données présentées au tableau 4.6 permet de constater lôextrême variabilité des concentrations en Black Carbon le long de tous les trajets, quôils soient HIGH ou LOW. En effet, les variances sont très élevées, ce qui indique une forte dispersion des données. On peut se poser la question de la pertinence du calcul de la moyenne, étant donnés les écarts-types très importants. Les valeurs limites très distantes témoignent également du comportement instable des concentrations de BC dérivées par lôaethalomètre. On pourrait supposer que cette distribution éparpillée des données soit liée à lôoccurrence dôévénements ponctuels qui faisant varier très rapidement les valeurs de Black Carbon mesurées au cours du trajet à vélo. Le Black Carbon est en effet un bon indicateur de pollution dôorigine locale (Vanderstraeten et al, 2011), ce qui permettrait dôexpliquer la grande variabilité des valeurs mesurées. La figure 4.4 montre dôailleurs un graphe de lôévolution des concentrations en Black Carbon mesurées au cours de lôitinéraire HIGH parcouru le 13 mars. On y voir très clairement les grandes fluctuations des concentrations mesurées au cours du temps.

Lôon peut encore observer sur le tableau 4.6 les valeurs relativement constantes de PM2,5, avec des variances faibles, des écarts-types assez proches de la moyenne, et des médianes se confondant souvent avec la moyenne. Cette relative stabilité des valeurs de PM2,5 comparée à la grande variabilité des concentrations de Black Carbon peut sôobserver en mettant en parallèle les graphes des figures 4.4 et 4.5. Les concentrations de particules fines semblent nettement moins subir lôinfluence des événements ponctuels lors des déplacements à vélo, tel le passage dôun bus ou la traversée dôun carrefour embouteillé.

Le niveau très élevé des concentrations en PM2.5 est assez interpellant. La valeur limite de 25 µg/m³, fixée comme moyenne annuelle à partir du 1er janvier 2015 par la directive 2008/50/CE, nôest respectée quôau cours dôun seul trajet (LOW, le 20 mars). Les valeurs moyennes mesurées indiquent une exposition très importante des cyclistes volontaires à des niveaux très élevés de particules fines, et ce pour tous les trajets parcourus au mois de mars 2014, HIGH et LOW, à lôexception dôun trajet LOW. En analysant les résultats, on ne peut par contre pas conclure à une différence dôexposition aux PM2,5 en parcourant les itinéraires HIGH et LOW

Figure 4.4: Evolution de la concentration en Black Carbon en fonction du temps - Itinéraire HIGH du 13 mars 2014

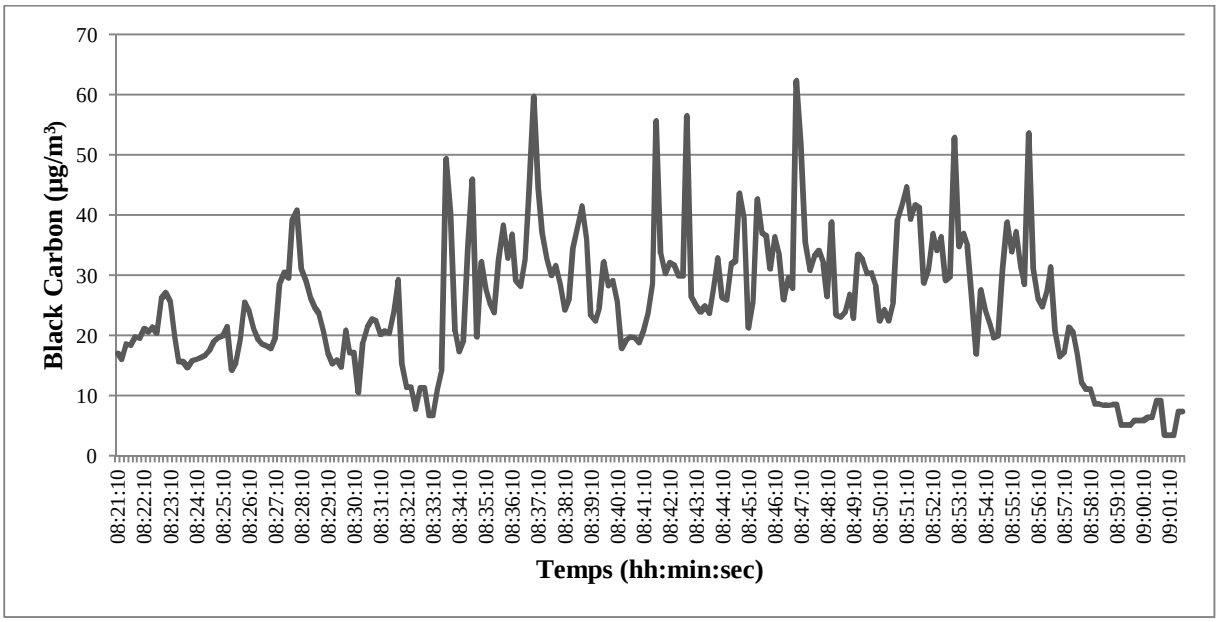
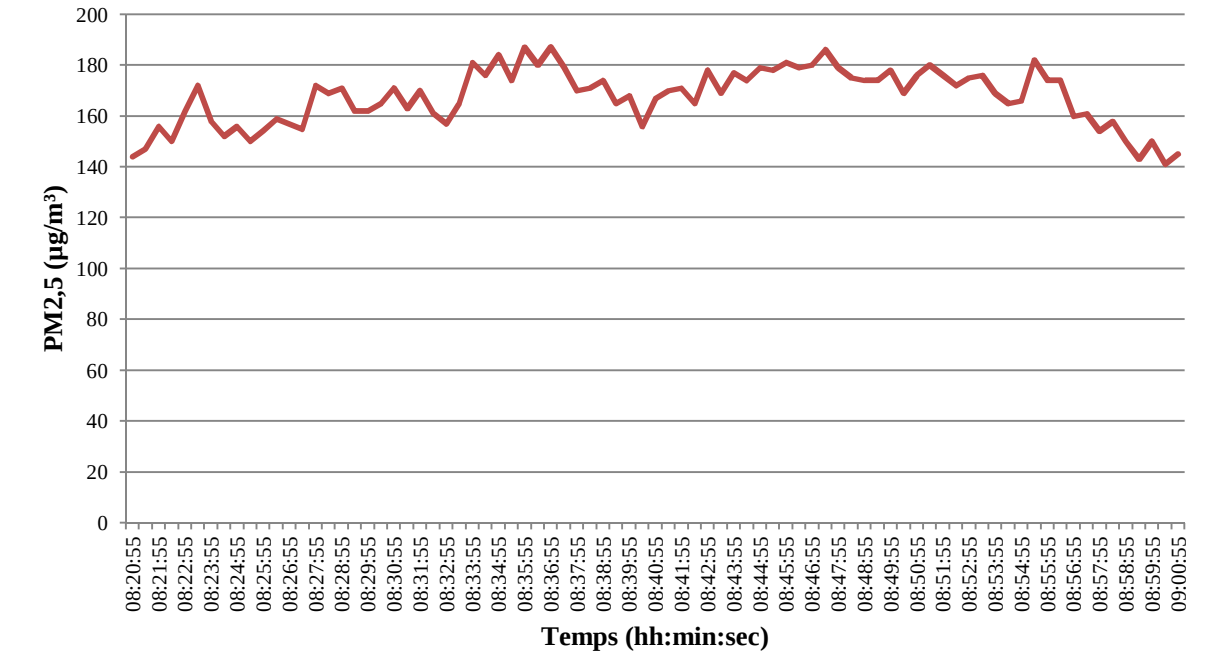


Figure 4.5: Evolution de la concentration en PM2,5 en fonction du temps- Itinéraire HIGH du 13 mars 2014 (jour de Smog)



4.3.3. Synthèse

Lôanalyse des résultats obtenus à lôaide du dispositif expérimental ayant servi à monitorer lôexposition des volontaires cyclistes au cours des itinéraires parcourus à vélo permet de dresser quelques constats. Ainsi, le total des charges cumulées en Black Carbon au cours des six itinéraires HIGH effectués au mois de mars 2014 est beaucoup plus élevé que celui calculé pour les six itinéraires LOW.

Les résultats montrent encore une grande variabilité des concentrations en Black Carbon tout au long des trajets parcourus.

Les concentrations en PM2,5 mesurées au cours de lôétude de terrain semblent ne pas subir lôinfluence dôévénements ponctuels. Elles montrent des niveaux équivalents au cours des douze trajets parcourus. Les mesures effectuées montrent des niveaux inquiétants de PM2,5 pour pratiquement la totalité des trajets parcourus.

4.4. Les questionnaires et participants

4.4.1. Les participants

Tableau 4.6 : Renseignements Signalétiques des participants

Renseignements Signalétiques	N=18 participants
Hommes	10
Femmes	8
Âge (années)	
Moyenne ± ET[10]	30 ± 8
Valeurs limites	22 ï 45
Socio-économique	
Niveau dôétude	
Enseignement supérieur	18
Profession	
Étudiant	6
Employé	6
Cadre	2
Sans emploi	2
Chercheur	1
Indépendant	1
Distance domicile- travail (km)[11]	
Moyenne ± ET	7,7
Médiane	5,1
Valeurs limites	2,2 ï 28,4
Taille du ménage (personne)	
Moyenne ± ET	2,4 ± 2
Valeurs limites	1 - 9
ménages à une personne (ménage)	9
Nombre de vélos par ménage (vélo)	
Moyenne ± ET	3,3 ± 3
Médiane	3
Valeurs limites	0 - 12

[10] Ecart-type

[11] Deux volontaires se sont déclarés sans emploi, lôun dôentre eux nôa pas mentionné de distance-domicile-travail, lôautre celle de son ancien lieu de travail. Ces statistiques ont été calculées par rapport à N=17.

Étant donné la très petite taille de lôéchantillon, celui-ci peut être qualifié dôéchantillon de confiance. Comme mentionné précédemment, la présente recherche pilote nôa aucune ambition dôextrapoler les données statistiques tirées de cet échantillon à une population extérieure à celui-ci.

Sur les dix-huit volontaires, seize ont parcouru les itinéraires LOW et HIGH, un nôa parcouru que le LOW, un autre que le HIGH.

Tous se sont déclarés capables de participer à lôexercice, après avoir répondu à la partie A du questionnaire, relative à leur état de santé.

Lorsque lôon se penche sur les renseignements signalétiques présentés au tableau 4.7, il est intéressant de noter que lôâge moyen des participants correspond à la tranche dôâge la plus représentée parmi les cyclistes bruxellois (Pro Velo, 2014a). La distance moyenne domicile-travail des participants est de 7,7 kilomètres. Ce chiffre est à nuancer vers le bas, étant donné que deux participants déclarent habiter à plus de 20 kilomètres de leur lieu de travail. Sans comptabiliser ces deux volontaires, la distance moyenne est de 5,3 kilomètres, ce qui se rapproche davantage de la distance maximum parcourue par 60% des cyclistes bruxellois interrogés par Pro Velo.

Il faut encore noter que, lorsque lôon observe la valeur supérieure de 12 vélos par ménage, il sôagit du volontaire ayant déclaré vivre dans un ménage composé de 9 personnes.

4.4.2. Le questionnaire

Tableau 4.7 : Résultats du questionnaire

Habitudes de déplacements à vélo	N=17 participants[12]
Fréquence dôutilisation du vélo (réponse)	
Au moins 5 jours par semaine	10
Un à quelques jours par semaine	3
Un à quelques jours par mois	2
Un à quelques jours par an	2
Motifs de déplacement à vélo à Bruxelles (réponse)	
Se rendre au travail/école	14
Promenade de détente	11
Se rendre à des activités de loisirs	10
Faire les courses	9
Déterminer son itinéraire : classement des critères par ordre décroissant dôimportance	1. Rapidité 2. Sentiment de sécurité 3. Relief

[12] Un volontaire déclare ne jamais se déplacer à vélo

Pratique du vélo et qualité de lôair à Bruxelles	**HIGH** (N=17)	**LOW** (N=15)[13]
Perception de variations de qualité de lôair	Parfois	Parfois
Incommodé par une qualité de lôair jugée mauvaise	Parfois	Parfois
Modifier son itinéraire en fonction de la qualité de lôair	Parfois	Parfois
Se tenir informé de lôévolution de la qualité de lôair	Parfois	Parfois
Canal dôinformation utilisé le plus souvent	Média dôinformation (internet, tv, radio)	Média dôinformation (internet, tv, radio)
Ne pas utiliser son vélo si la qualité de lôair est mauvaise	Jamais	Jamais
Avantage principal du vélo	Rapidité	Rapidité
Inconvénient principal du vélo	Météo	Météo

Analysons maintenant les données du tableau 4.8.

Une information qui nôapparaît pas dans les résultats présentés dans ce tableau est quôil a été demandé aux volontaires dôindiquer le mode de déplacement utilisé pour se rendre au lieu de rendez-vous : dix candidats ont utilisé leur vélo, ce qui correspond exactement au nombre de candidats affirmant se déplacer quotidiennement à vélo. On peut donc considérer cette réponse comme étant fiable. Il est en effet intéressant en matière dôétude comportementale, dôeffectuer une coupe diachronique, côest-à-dire de croiser lôinformation récoltée par questionnaire avec une mesure directement observable le jour de lôentretien (Albarello et al, 2000 :41). Dix volontaires seraient donc effectivement des « cyclistes quotidiens », se déplaçant au moins cinq jours par semaine à vélo. Lorsque lôon se penche sur les motifs de déplacement des volontaires, une immense majorité déclare utiliser son vélo pour se rendre à leur lieu de travail ou lôécole (6 volontaires sont étudiants). Ceci correspond donc à du déplacement domicile-travail, premier type de déplacements à vélo à Bruxelles (Pro Velo, 2014a). Les deuxième et troisième raisons invoquées par les volontaires pour effectuer leurs déplacements à vélo à Bruxelles sont liées aux activités de détente (se promener) et de loisirs (aller boire un verre, se rendre au cinéma). Ces deux catégories de motifs sont rassemblées en une par Pro Velo, qui arrive en deuxième position dans les types de déplacements à vélo invoqués dans lôétude de Pro Velo (2014a). Le motif de faire ses courses suit les raisons précédemment évoquées, ce qui rejoint les résultats de lôétude publiée par Pro Velo en 2014.

[13] Un volontaire a omis de répondre à cette partie, un autre ne roulant jamais à vélo, il ne lui était pas opportun de répondre aux questions concernant la pratique du vélo

La rapidité est le premier critère invoqué par les volontaires pour déterminer leur itinéraire. Ils souhaitent prendre le trajet le plus direct pour relier deux points de la ville. Cela correspond à lôavis dôun expert rencontré (F. Depoortere, communication personnelle, le 7 novembre 2013). Dôailleurs, les volontaires se montrent assez cohérents dans cette réponse, car la rapidité est lôavantage principal du vélo le plus cité. Les cyclistes bruxellois interrogés par Pro Velo citent également ce critère le plus fréquemment.

Vient ensuite le sentiment de sécurité, qui bien entendu est un critère indispensable de cyclabilité. La présente recherche ne se focalise pas sur cet aspect, il nôen sera donc pas dit plus ici.

Lorsquôils sôexpriment spontanément[14] sur les critères importants entrant en compte dans le choix dôun itinéraire à vélo, quatre volontaires déclarent préférer éviter les grands axes routiers, au contraire dôun autre qui dit les préférer, un seul mentionne un critère lié à la qualité de lôair.

Lôanalyse des réponses fournies aux questions ayant trait à la pratique du vélo et la qualité de lôair à Bruxelles semble révéler le peu dôintérêt accordé à la problématique par les volontaires : peu perçoivent de variations de qualité de lôair lors de leurs déplacements à vélo, ou se déclarent incommodés par la pollution atmosphérique, et encore moins semblent adapter leur comportement dôitinéraire aux variations de qualité de lôair local. La majorité des volontaires déclare suivre parfois lôactualité ayant trait à la qualité de lôair, et ce principalement par internet, à la télévision ou à la radio. Suite à un entretien auprès dôun responsable de Pro Velo, lôintervenant a pu constater le peu dôintérêt porté à cette problématique auprès des cyclistes bruxellois (Etienne Holef, communication personnelle, le 5 mai 2014). Ce constat est confirmé suite à lôanalyse des résultats de lôenquête 2013 de Pro Velo : la pollution est citée par 5 % des cyclistes interrogés comme étant lôinconvénient principal du vélo à Bruxelles, et arrive en cinquième position après les conditions météorologiques (Pro Velo, 2014a). Ce dernier critère est cité le plus fréquemment comme inconvénient par les volontaires ayant participé à la présente étude.

Enfin, cette partie du questionnaire a été soumise deux fois aux volontaires, après avoir parcouru lôitinéraire HIGH et le LOW, et ce sans les en avoir prévenu. Lôintervenant souhaitait ainsi vérifier la fiabilité des participants en mettant à lôépreuve la cohérence de leurs réponses. Le résultat montre que les réponses sont similaires, malgré quelques variations infimes non visibles ici en raison du mode de traitement des données.

[14] Via une case « autre, précisez : »

Tableau 4.8 : symptômes auto-rapportés

Symptômes auto-rapportés après le trajet[15]	**HIGH** (N=17)	**LOW** (N=17)
Gêne liée aux odeurs		
Intensité moyenne	Fortement	Légèrement
Fortement ou très fortement (personne)	10	2
Attribuer les odeurs gênantes à la proximité du trafic		
Degré d'attribution (échelle croissante de 1 à 5[16])	5	3
D'accord ou tout-à-fait d'accord (personnes)	15	8
Irritation à la gorge	Légèrement	Pas du tout
S'être senti essoufflé	Légèrement	Légèrement
Difficultés à respirer	Légèrement	Pas du tout
Picotement aux yeux	Pas du tout	Pas du tout
Toux	Pas du tout	Pas du tout

Avant d'analyser les données du tableau 4.5 il faut tenir compte de biais possibles dans l'interprétation des réponses liés à la nature même de l'exercice d'auto-rapportage des symptômes ressentis pendant les trajets. En effet, cet exercice fait appel à des notions subjectives hautement liées à des caractéristiques individuelles. De plus, cet exercice, comme celui du report sur carte, exige une attention soutenue ainsi qu'une faculté de mémorisation de la part des volontaires. Un autre biais est encore lié au rapport entretenu par les volontaires avec le sujet traité par l'étude, mais aussi avec l'intervenant lui-même. Cela pourrait entraîner un taux plus élevé de symptômes rapportés. Enfin, il faut également tenir compte d'un événement exceptionnel survenu pendant la période de récolte de données de terrain : deux itinéraires HIGH ont été parcourus par six volontaires en plein smog d'hiver. Les données rapportées ces deux jours-là sont liées au caractère exceptionnel de cet épisode de pollution.

Très peu de volontaires ont rapporté des symptômes d'irritation après avoir effectué les itinéraires HIGH et LOW, que ce soit à la gorge, au nez ou aux yeux. Les cas rapportés l'ont été principalement pendant les jours de smog d'hiver sur l'itinéraire HIGH. Quelques candidats ont rapporté des écoulements au niveau du nez, mais sans pouvoir garantir de lien causal lié à la proximité du trafic : des rhumes et allergies ne pouvaient pas être exclus avec certitude.

Le symptôme le plus souvent rapporté est la gêne liée à la présence d'odeurs, et ce surtout après avoir parcouru l'itinéraire HIGH. L'immense majorité des volontaires attribuent d'ailleurs ces odeurs à la proximité du trafic motorisé, ce qui a été objectivé et confirmé par l'exercice de report sur carte, et par les deux enregistrements filmés d'itinéraires. On peut constater une différence nette entre le nombre de

[15] Résultat obtenu en moyennant les cotes attribuées aux réponses pour l'ensemble des volontaires.
[16] De 1 : pas du tout d'accord, à 5 : tout-à-fait d'accord.

volontaires se déclarant avoir été gênés par des odeurs lors de l'itinéraire HIGH et lors de l'itinéraire LOW.

Voici maintenant une tentative de neutralisation de l'effet « smog ». Les onze volontaires ayant parcouru les itinéraires HIGH les jours sans smog d'hiver (survenus les 13 et 14 mars) se déclarent globalement avoir été modérément incommodés par des odeurs particulières après le retour de l'itinéraire HIGH. En incluant les deux jours de smog, les dix-sept participants se déclarent par contre globalement avoir été gênés par des odeurs au cours du trajet HIGH. L'influence de cet événement sur les réponses fournies est donc perceptible.

Enfin, au-delà des résultats obtenus à l'aide des questionnaires, l'intervenant a eu l'occasion de récolter quelques informations qualitatives auprès des volontaires. Vingt minutes après le retour du trajet HIGH du 13 mars 2014, premier jour de smog, les trois volontaires ont montré des signes patents d'irritation aux yeux, se manifestant sous la forme de rougeurs.

4.4.3. Synthèse

Les questionnaires soumis aux volontaires constituant l'échantillon de convenance permettent d'apprécier certaines de leurs attitudes et de leurs comportements en matière de cyclabilité. Il semble également qu'une grande partie des volontaires ayant participé à l'étude utilise le vélo dans ses déplacements quotidiens, et ce surtout pour se rendre à leur lieu de travail ou à l'école.

Une majorité d'entre eux semble apprécier le vélo pour la rapidité qu'il offre lors des déplacements dans Bruxelles.

La problématique liant la qualité de l'air et la pratique du vélo semble peu les interpeller, et ce malgré le fait d'avoir manifesté de l'intérêt pour l'étude réalisée.

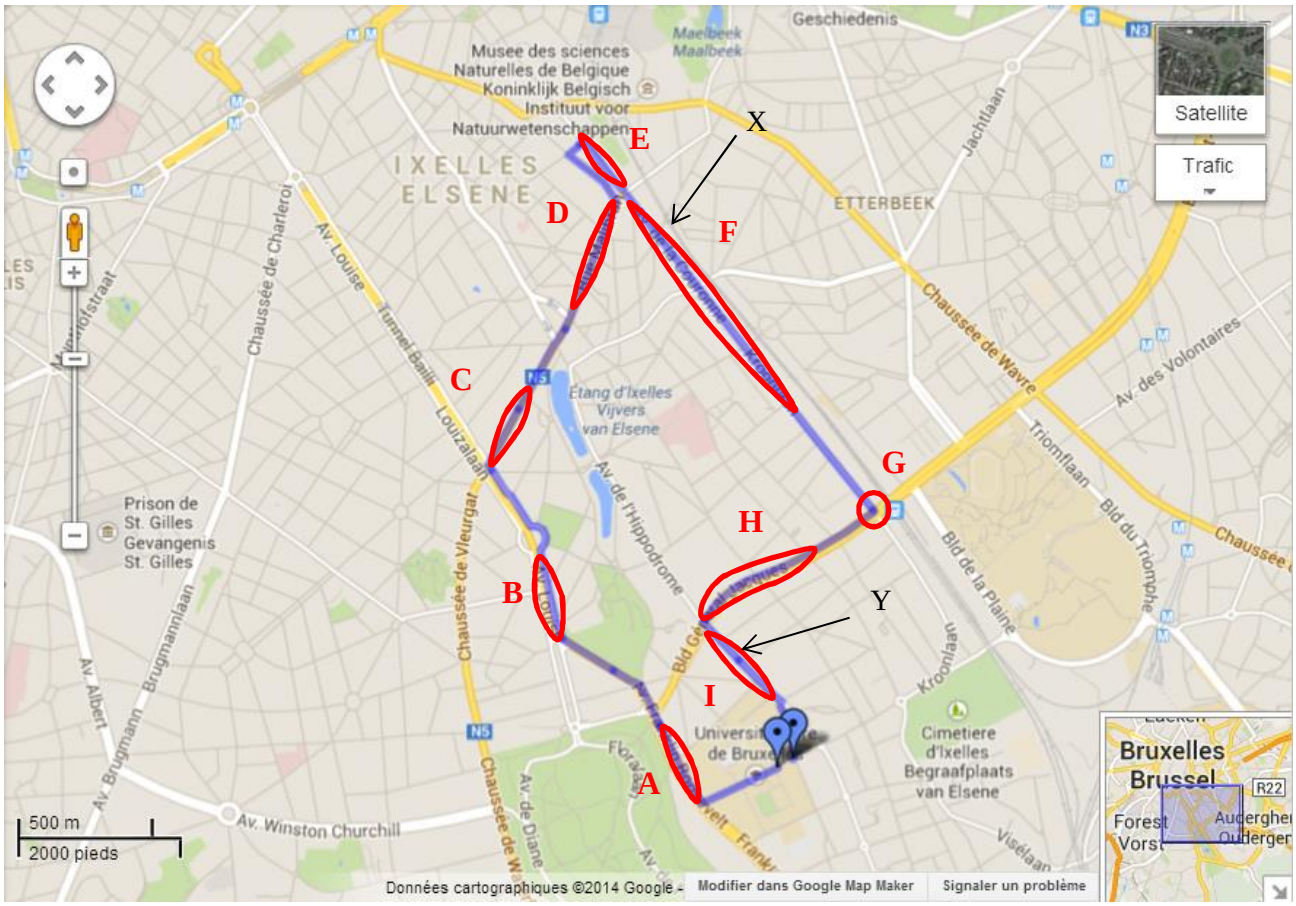
Les symptômes le plus souvent rapportés après avoir parcouru les itinéraires à vélo sont liés à la perception d'odeurs gênantes, et ce surtout après retour de l'itinéraire HIGH.

La survenue de l'épisode de smog d'hiver a exercé une influence sur le nombre de symptômes rapportés.

4.1. L'exercice de report des symptômes sur carte

4.1.1. Les itinéraires HIGH

Figure 4.6: Symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des tests effectués sur l'itinéraire HIGH[17]



Symptômes rapportés en fonction de l'événement noté par l'intervenant		Nombre d'occurrences des symptômes rapportés par les participants en fonction des zones notées sur la carte (sur 17 participants)
A	Odeur / file de voitures (carrefour - trafic dense)	13
B	Odeur / intensité du trafic	3
C	Odeur / file de voitures (travaux)	6
D	Odeur / file de voitures (carrefour)	5
E	Odeur / intensité du trafic	8
F	Odeur / intensité du trafic	8
G	Odeur / file de voitures (carrefour)	3
H	Odeur / intensité du trafic	5
I	Odeur / intensité du trafic[18]	3
X	Gêne à la gorge	1
Y	Gêne à la gorge	1

[17] À l'exception des symptômes d'irritation rapportés lors du test effectué le 13 mars 2014, repris au point 4.1.4.
[18] La circulation n'avait pas encore été limitée avenue Buyl lorsque l'expérience a eu lieu.

Les résultats présentés ici sont le fruit d'une méthode mis en place par l'intervenant. Lors de l'exercice de report sur carte, les volontaires sont invités, après avoir rempli la partie du questionnaire relative aux symptômes éventuellement ressentis, à reporter ceux-ci sur carte. Les données récoltées individuellement ont été rassemblées par l'intervenant sur une seule carte synthétique par jour d'itinéraire. Ces données ont été mises en parallèle avec les événements observés au cours du trajet par l'intervenant qui les a notés sur une carte séparée. Les résultats obtenus lors de chaque itinéraire ont été intégrés à nouveau sur deux cartes dédiées respectivement à l'itinéraire HIGH et à l'itinéraire LOW.

Il est à noter d'emblée que les résultats montrés à la figure 4.6 ne reprennent pas les symptômes d'irritation rapportés après avoir parcouru l'itinéraire du 13 mars, et ce pour éviter un biais de surreprésentation explicité au point 4.1.4 dédié aux résultats obtenus lors de cette matinée aux caractéristiques particulières.

L'on peut constater à l'observation de la figure 4.6 que les volontaires ont surtout rapporté des symptômes de type olfactifs pouvant être associés à la proximité du trafic dense, et ce pratiquement tout le long de l'itinéraire parcouru. Certains endroits sont fréquemment indiqués sur la carte, comme les points A (avenue F. Roosevelt), E et F (avenue de la Couronne). Ces deux derniers points correspondent à une portion qualifiée de « canyon street », comme indiqué à la figure 4.1. Cette portion de voirie étroite bordée de part et d'autre par une ligne continue d'immeubles est très empruntée par les automobilistes et lignes de bus. Un candidat a d'ailleurs évoqué une sensation d'asphyxie sur ce tronçon de l'itinéraire (rapporté oralement le 17 mars).

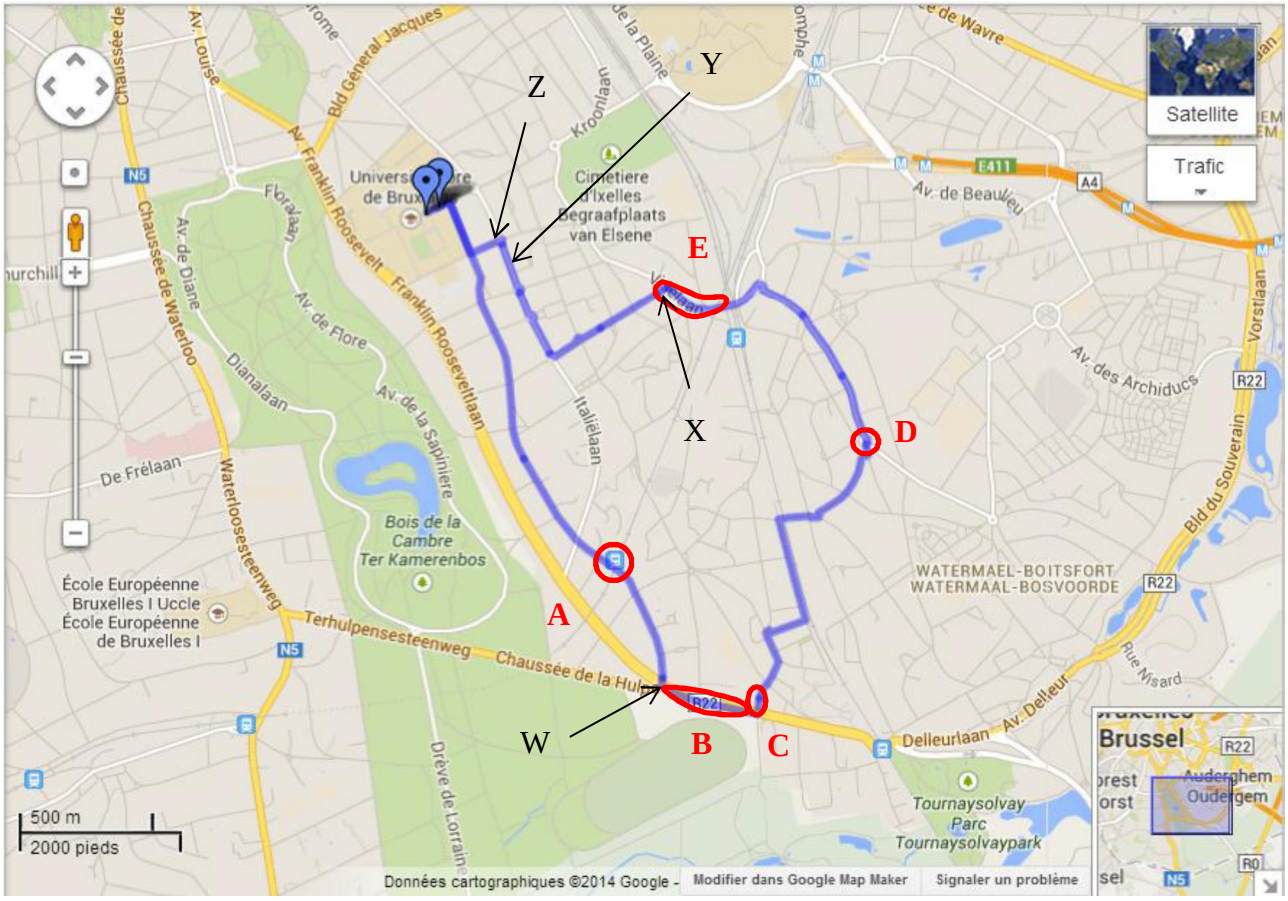
L'on peut encore ajouter aux résultats montrés sur la carte qu'après l'exercice effectué le 14 mars (deuxième jour de smog d'hiver), les trois participants ont manifesté des signes d'irritation vingt minutes après le retour du trajet. Ils ont rapporté oralement à l'intervenant un sentiment de gêne à la gorge et aux yeux, ces derniers étant d'ailleurs rouges. Ces données ont été notées par l'intervenant dans son journal d'activités

Enfin, il ne faudrait pas négliger l'influence des stimuli visuels sur la qualité des impressions rapportées au cours de l'exercice. Un candidat a ainsi évoqué l'impression de « respirer de l'air frais » lors du passage le long de l'avenue Emile De Mot (figure 4.1 portion verte du tracé), alors que les cyclistes y sont invités à emprunter un trottoir bordé de part et d'autres de grands arbres d'alignements (platanes). Un autre volontaire a rapporté la même sensation en débouchant sur le boulevard Général Jacques, après avoir quitté l'avenue de la Couronne (canyon street point F de la figure 4.6), en expliquant cette sensation par le fait d'emprunter une voirie nettement plus large (informations rapportées oralement à l'intervenant).

Un dernier constat peut être formulé suite à l'analyse des symptômes rapportés sur la carte : le nombre de volontaires rapportant une sensation de gêne olfactive est plus important au début du trajet, et diminue au fur et à mesure de l'itinéraire. Cela pourrait s'expliquer par un phénomène d'adaptation aux stimuli provenant de l'environnement parcouru. De plus, la loi de Weber-Fechner montre qu'il est plus difficile de percevoir un changement d'intensité d'un stimulus lorsque celui-ci est de forte intensité (Fechner, 1860).

4.1.2. Les itinéraires LOW

Figure 4.7: symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des tests effectués sur l'itinéraire LOW



Symptômes rapportés - événements objectivés par lôintervenant		Nombre dôoccurrences des symptômes rapportés par les participants en fonction des zones notées sur la carte (sur 17 participants)
A	Odeur ï chantier	8
B	Odeur ï intensité du trafic	1
C	Odeur ï file de voitures (feu de circulation)	7
D	Odeur ï carrefour	4
E	Odeur ï file de voitures (carrefour)	10
W	Gêne à la gorge	1
X	Gêne à la gorge	2
Y	Gêne à la gorge	1
Z	Toux	1

Beaucoup dôévénements ponctuels ont été rapportés au cours des six matinées où lôitinéraire LOW a été parcouru : un véhicule de chantier qui dépasse, un vélomoteur qui longe le groupe de cyclistes et

qui émet des odeurs désagréables, sans oublier le charme de suivre un camion poubelle. Le choix a été fait de ne pas reporter ces événements ponctuels sur la carte globale intégrant l'ensemble des symptômes auto-rapportés par les volontaires au cours des six sessions et ce pour des raisons de lisibilité de la carte. De plus, ces événements ponctuels, bien que caractérisant l'itinéraire LOW, ne sont pas liés à des éléments caractéristiques de la morphologie des voiries empruntées. Par contre, ils représentent bien le lot des cyclistes devant partager la chaussée avec les autres usagers (piétons exclus) sur les portions de voiries de quartier empruntées au cours de l'itinéraire. Le lecteur a néanmoins le loisir de consulter en annexe la carte reprenant l'ensemble des événements ponctuels rapportés

La carte reproduite à la figure 4.7 montre quatre points indiqués le plus fréquemment par les cyclistes comme endroits où une sensation de gêne liée à la présence d'odeurs particulières a été ressentie. Les points C, D et E sont des endroits du parcours où l'on peut associer le report de ces sensations à la proximité du trafic automobile. Il s'agit surtout de carrefours où la circulation était fortement ralentie. Au point A, l'intervenant a pu objectiver la source probable de ces nuisances comme étant liée à la présence d'un groupe électrogène utilisé dans la réalisation d'un chantier sur le côté de la voirie.

Le report de nombreux événements ponctuels pourrait, comme dans le cas de l'exercice effectué au cours des itinéraires HIGH, s'expliquer à la lumière de la loi de Weber-Fechner (Fechner, 1860). En effet, les variations de stimuli sensoriels sembleraient être mieux perçues lorsque l'intensité globale des stimuli est faible.

4.1.3. Comparaison des résultats obtenus sur l'ensemble des trajets HIGH et LOW

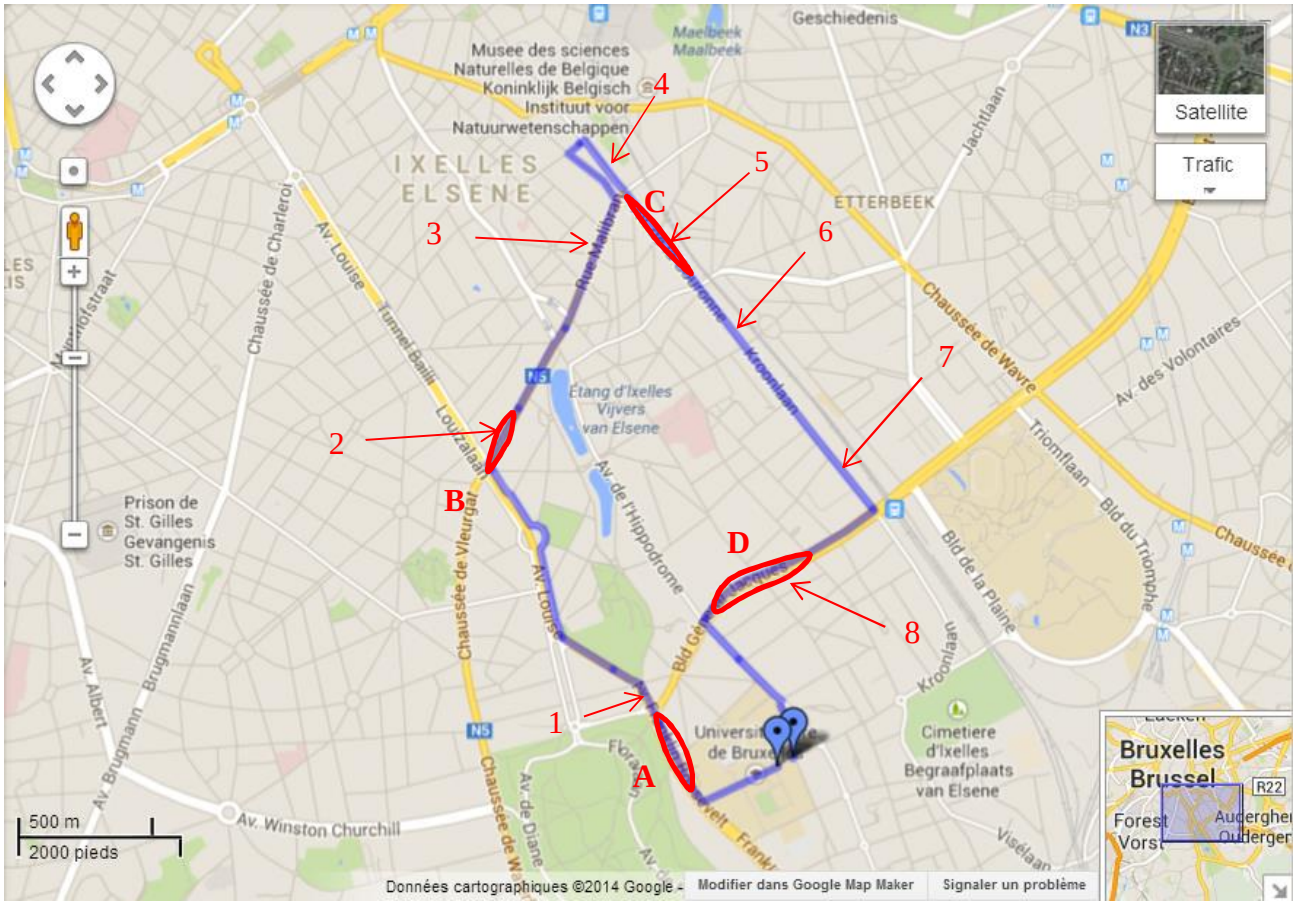
Beaucoup d'événements ponctuels ont été rapportés après avoir parcouru l'itinéraire LOW.

Dans le cas de l'itinéraire HIGH, un grand nombre d'endroits sont indiqués systématiquement sur la carte par la plupart des candidats et ce tout le long de l'itinéraire. Ces endroits correspondent sans surprise à des axes fortement empruntés par les voitures et lignes de bus.

Dans les deux cas, les carrefours où la circulation automobile est ralentie, voire arrêtée sont des endroits indiqués fréquemment comme source d'odeurs gênantes par les cyclistes ayant participé à l'étude.

4.1.4. Un cas particulier : lôitinéraire HIGH du 13 mars 2014

Figure 4.8: Symptômes rapportés sur carte après retour de l'itinéraire HIGH du 13 mars 2014



Symptômes rapportés - événement objectivés par lôintervenant		Nombre dôoccurrences des symptômes rapportés par les participants en fonction des zones notées sur la carte (sur 3 participants)
A	Odeurs ï file de voitures (carrefour)	3
B	Odeurs ï file de voitures (travaux)	3
C	Odeurs ï intensité du trafic	2
D	Odeurs ï intensité du trafic	1
1	Gène à la gorge	1
2	Picotement aux yeux et gène à la gorge	3
3	Gène à la gorge	2
4	Picotement aux yeux et gène à la gorge	1
5	Picotement aux yeux et gène à la gorge	2
6	Picotement aux yeux	1
7	Picotement aux yeux et gène à la gorge	2
8	Picotement aux yeux et gène à la gorge	2

Les données exposées à la figure 4.8 ont été récoltées le 13 mars 2014, après avoir effectué le trajet HIGH. Il s'agit du premier jour où le smog d'hiver a officiellement été annoncé. L'exercice est filmé. Trois volontaires se sont soumis à l'épreuve et ont rapporté les symptômes ressentis au cours du trajet sur la carte représentant l'itinéraire parcouru. Les témoignages visuels recueillis ont été objectivés par la suite en visionnant l'enregistrement vidéo de l'exercice.

Le contexte exceptionnel du smog d'hiver, le fait que le trajet ait été filmé et le nombre important de symptômes auto-rapportés lors de cette session ont motivé l'intervenant à traiter séparément les données recueillies le 13 mars 2014 lors de l'exercice de report sur carte.

Les symptômes d'irritation (yeux et gorge) montrés ici sont numérotés de 1 à 8. Il est à noter que l'occurrence particulièrement importante de ces symptômes n'a pas été observée les 5 autres jours où le trajet HIGH a été effectué, ni même lors du trajet du 14 mars, lui aussi jour de smog. Cela pourrait éventuellement être dû à des volontaires particulièrement « sensibles » ou plus à l'écoute de leur ressenti, qui ont noté avec générosité les symptômes d'irritation constatés. Les grandes incertitudes inhérentes à l'exercice de l'auto-rapportage des symptômes en démontrent la limite. Intégrer ces éléments dans le résultat global présenté à la figure 4.6 aurait pu y introduire un biais supplémentaire, c'est la raison pour laquelle le choix a été fait de ne pas comptabiliser les symptômes d'irritation auto-rapportés le 13 mars dans la carte de la figure 4.6[19].

L'enregistrement vidéo ne montre pas d'événements ponctuels particuliers à l'itinéraire parcouru le 13 mars.

Par contre, les odeurs liées au trafic automobile sont rapportées aux mêmes endroits que lors des autres jours où le trajet HIGH a été effectué : avenue Franklin Roosevelt (A), dans la descente de la chaussée de Vleurgat où des travaux engendrent des files (B), avenue de la Couronne (C) et boulevard Général Jacques (D).

Le fait d'avoir attribué les noms de HIGH et LOW aux itinéraires représente une limite incontestable de l'exercice, étant donnée la possibilité d'atteindre à l'objectivité des volontaires qui savaient que l'itinéraire parcouru portait le nom de HIGH ou de LOW. Cette limite vaut d'ailleurs pour l'ensemble de l'étude. Il eût peut-être été intéressant d'effectuer l'exercice à l'aveugle.

4.1.5. Synthèse

L'exercice de report des symptômes ressentis au cours des trajets parcourus montre une nette différence entre les résultats obtenus après avoir parcouru l'itinéraire HIGH et l'itinéraire LOW, et ce malgré les limites liées à la nature de l'exercice effectué. Ainsi, après le retour de l'itinéraire LOW, de

[19] Les odeurs ressenties le 13 mars ont bien été représentées sur la carte globale

nombreux événements ponctuels sont rapportés, alors que les volontaires semblent davantage avoir été incommodés par des situations récurrentes liées au type de voiries empruntées au cours de lôitinéraire HIGH et ce, pratiquement tout le long de son parcours (voiries à forte densité de trafic).

Les symptômes les plus rapportés en général par les volontaires sont liés à la présence dôodeurs gênantes pouvant être attribuées à la proximité du trafic, et ce non seulement dans les cas où les participants à lôétude ont emprunté des axes à circulation dense, mais aussi de manière plus générale lorsque le trafic automobile est ralenti par un obstacle ponctuel (travaux) ou non (carrefour encombré).

Enfin, le smog dôhiver survenu au cours de la période où sôest déroulé lôétude de terrain a influencé la nature des résultats obtenus.

5. Discussion et perspectives

Le dispositif expérimental mis en î uvre dans la présente étude montre que les cyclistes volontaires ayant parcouru les deux itinéraires HIGH et LOW en heure de pointe du matin au mois de mars 2014 ont été soumis à des niveaux différents de pollution de lôair.

Ces différences ont été marquées au sein même dôun itinéraire, en fonction dôévénements survenant en cours de trajet, liés ou non à la configuration du lieu. Elles se sont marquées également pour une même catégorie dôitinéraire (LOW ou HIGH), par des différences liées aux conditions météorologiques variables dôun jour à lôautre.

Les différences dôexposition au Black Carbon ont été marquantes entre les deux catégories dôitinéraires. Cela a pu être apprécié à lôaide dôun indicateur théorique ad hoc mis en place au cours de lôétude. Cette charge cumulée par trajet permet dôeffectuer des comparaisons entre catégories dôitinéraires en tenant compte des mesures effectuées sur le réseau télémétrique Bruxellois.

Par contre, les différences de concentrations en PM2,5 estimées à lôaide de lôindicateur nôétaient pas aussi marquées entre les deux types dôitinéraires. Le monitoring environnemental effectué a montré des niveaux inquiétants de concentrations moyennes en PM2,5 sur lôensemble des itinéraires et ce, même en dehors des jours de smog dôhiver. A lôexception dôune seule, aucune concentration moyenne mesurée pour chaque itinéraire, que ce soit le HIGH ou le LOW, ne respecte la valeur limite de 25µg/m³ exigée pour le 1er janvier 2015 par la directive 2008/50/CE. Ces valeurs dôexposition extrêmement élevées ne correspondent pas aux valeurs mesurées par le réseau télémétrique assurant le monitoring environnemental bruxellois. Dôaprès P. Vanderstraeten, cela sôexplique par le fait que les modes dôéchantillonnages sont radicalement différents (communication personnelle, le 9 mai 2014). En effet, le réseau télémétrique rend compte des mesures à lôimmission, cô est-à-dire que le mode dôéchantillonnage doit respecter certains critères stricts définis par la directive 2008/50/CE, comme la

distance par rapport aux axes routiers par exemple. Ces mesures doivent rendre compte de la qualité de lôair à laquelle est soumise une population entière.

Le dispositif expérimental utilisé par lôintervenant rend compte de mesures proches de lôémission du trafic, le dispositif dôéchantillonnage mobile circulant au niveau de la voirie. Les émissions issues du trafic nôont donc pas lôoccasion de se disperser ou de sôoxyder avant lôéchantillonnage (P. Vanderstraeten, communication personnelle le 9 mai 2014). Le dispositif expérimental utilisé rend donc bien compte des conditions réelles dôexposition des cyclistes.

Les itinéraires empruntés ne représentent pas la réalité des trajets empruntés par les cyclistes bruxellois. Néanmoins, certaines caractéristiques rappellent tout de même cette réalité, comme la distance parcourue par exemple. Par contre, les deux types dôitinéraires tracés, le HIGH et le LOW, répondent bien à lôexigence posée par la première hypothèse principale de comparer deux itinéraires contrastés. Cette hypothèse est dôailleurs vérifiée par le dispositif expérimental mis en place : en ce qui concerne lôexposition au Black Carbon, lôemprunt dôun itinéraire alternatif (LOW versus HIGH) diminue lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair local. Ceci pouvait être attendu suite aux constats réalisés dans la revue de la littérature.

Cette hypothèse nôest pas vérifiée par le dispositif expérimental mis en place dans le cas des PM2,5.

La deuxième hypothèse secondaire est donc à moitié vérifiée elle aussi (se référer à la figure 3.1) : les cyclistes volontaires sont moins exposés au Black Carbon en empruntant lôitinéraire LOW quôen empruntant le HIGH, mais cela nôest pas vérifié pour les PM2,5.

La troisième hypothèse secondaire de recherche est un peu plus compliquée à traiter. Si, en tenant compte uniquement de critères liés à lôexposition à la pollution de lôair, lôitinéraire LOW est plus recommandable aux cyclistes que le HIGH en ce qui concerne les valeurs de Black Carbon mesurées, ce nôest pas le cas pour les valeurs de PM2,5. Etant donné les valeurs extrêmement élevées de PM2,5 constatées en parcourant les itinéraires au mois de mars 2014, on pourrait même déconseiller aux cyclistes dôemprunter lôun et lôautreé Ces valeurs élevées plaident en faveur dôune prise en charge concertée des problèmes liés à la pollution de lôair à lôéchelle interrégionale. En effet, les constats faits par P. Vanderstraeten montrent lôorigine extra urbaine de la plus grande part de la pollution particulaire présente sur le territoire de la RBC.

Lôadministration de questionnaires portant sur les symptômes ressentis au cours des trajets associé à lôexercice de report sur carte a permis dôapporter des éléments susceptibles de tester la première hypothèse secondaire. Si les volontaires ont rapporté relativement peu de symptômes dôirritation ophtalmique et naso-pharyngée après avoir parcouru les deux itinéraires, ils se sont déclarés beaucoup plus gênés par des odeurs désagréables après le retour de lôitinéraire HIGH. En ce sens, lôhypothèse se vérifie partiellement. Il est par contre intéressant de relater lôeffet quôa eu lôépisode de smog dôhiver

sur les volontaires ayant participé à lôexpérience les jours concernés : le 13 mars, tous les participants ont manifesté et rapporté des signes dôirritation des yeux et de la gorge, et ce vingt minutes après le retour du trajet effectué à vélo.

Les deuxième et troisième hypothèses principales sont plus délicates à traiter. La soumission du questionnaire à un échantillon de convenance ne permet en effet pas de tirer des conclusions générales sur lôattitude dôune population vis-à-vis dôune problématique ou dôapprécier leur comportement dôitinéraires. Ceci dit, les questionnaires permettent dôapprocher quelque peu ces questions auprès de lôéchantillon lui-même. Les résultats du questionnaire montrent le peu dôintérêt porté par les volontaires aux questions relatives à la qualité de lôair : peu se tiennent informés sur le sujet, et peu se déclarent disposés à modifier leur itinéraire en raison dôune qualité de lôair jugée mauvaise. Ce résultat a pu être confirmé pour une population plus importante de cyclistes grâce à lôinformation recueillie au cours des entretiens dôexperts. Lôon peut affirmer que pour lôéchantillon de convenance, les deuxième et troisième hypothèses principales ne sont pas vérifiées. Suite aux entretiens dôexperts, on peut le supposer pour une population de cyclistes plus importante, mais rien ne permet de lôaffirmer.

Ces entretiens dôexperts et la consultation du Plan Vélo 2010-2015 (Bruxelles Mobilité, 2011) reflétant la position du gouvernement régional bruxellois de la législature précédente en matière de politique cyclable à Bruxelles ne permettent pas de percevoir une prise en compte directe par le monde politique de la qualité de lôair et du risque environnemental y étant lié. Les effets potentiellement néfastes de la qualité de lôair ne sont jamais évoqués spontanément. Bien entendu, les impacts environnementaux et sanitaires positifs dôune politique favorisant un transfert modal vers les modes actifs sont présentés pour justifier une politique cyclable ambitieuse, mais les risques environnementaux liés à lôexposition nocive ne sont pas abordés. La quatrième hypothèse secondaire nôest donc pas vérifiée. Les critères de cyclabilité définis par la Région nôoffrent pas une place de choix à la problématique de la qualité de lôair.

En ayant connaissance des données récoltées au cours de la mise en î uvre du dispositif expérimental, répondre à la question de recherche sôavère une tâche délicate. Comment prendre le parti dôy répondre par lôaffirmative quand on sait quôun grand nombre dôincertitudes planent encore sur les effets à long terme dôune exposition nocive régulière des cyclistes, quand on lit les concentrations anormalement élevées de PM2,5 relevées sur la quasi entièreté des itinéraires parcourus, ou encore lorsque lôon prend connaissance des résultats dôétudes de cohortes montrant les effets néfastes de lôexposition chronique aux polluants particulaires (Beelen et al, 2013 et Perez et al, 2013) ?

Il est par contre tentant dôy répondre par lôaffirmative, surtout lorsque les réactions inflammatoires liées à une brève exposition des cyclistes à la pollution de lôair sont pratiquement indétectables, et que tant dôauteurs font appel à lôanalyse coût-bénéfice pour évaluer positivement les impacts sur la santé de lôexercice du vélo en milieu urbain et ce, sans prendre en compte la morbidité.

Le choix a donc été posé de laisser cette question en suspens, tant que les incertitudes ne sont pas levées.

Il serait par contre intéressant de relever quelques limites à lôétude ayant été réalisée. Tout dôabord, lôéchantillon de convenance ne permet pas de généraliser les résultats obtenus. Ensuite, il serait intéressant dôutiliser des itinéraires réels de déplacement domicile-travail pour réaliser une étude de plus grande ampleur à Bruxelles. La technique de lôauto-rapportage des symptômes ressentis comporte de nombreux biais qui ont été explicités. Le choix même du nom des itinéraires rend difficile une approche neutre, à lôaveugle, tant de la part des volontaires, que de lôintervenant ou même du lecteur. On pourrait encore ajouter quôil eût été intéressant de mesurer des paramètres de santé, ce qui nôa pas été possible pour des raisons de faisabilité. Enfin, un échantillonnage de nanoparticules a été effectué au cours de la campagne de mesures, et la fréquence cardiaque de lôintervenant a été mesurée en temps réel. Il serait intéressant de traiter ces données pour dôune part calculer la dose de polluants inhalés, et dôautre part pour affiner lôargumentation de cette recherche.

De nombreuses questions se posent encore, comme lôinfluence des masques sur lôexposition des cyclistes aux polluants atmosphériques.

Pour terminer, une approche de la problématique sur le long terme est indispensable pour lever les incertitudes existant quant aux effets dôune exposition chronique des cyclistes à la pollution locale de lôair en milieu urbain.

6. Conclusion

Lôétude réalisée dans le cadre du travail de fin dôétudes dont les résultats sont rapportés ici a tenté de discuter les enjeux liés à lôexposition des cyclistes à la pollution de lôair à Bruxelles.

Lôexposition de dix-huit cyclistes volontaires au Black Carbon et aux PM2,5 a été objectivée à lôaide dôun dispositif mobile de prises de mesures au cours de deux trajets différents dans Bruxelles qualifiés de HIGH et de LOW. Le monitoring environnemental a montré, grâce à lôutilisation dôun indicateur ad hoc développé au cours de lôétude, des niveaux dôexposition au Black Carbon nettement supérieurs en parcourant lôitinéraire HIGH. Aucune différence notable nôa été mesurée pour les PM2,5. Par contre, les niveaux de PM2,5 auxquels sont exposés les cyclistes sur lôensemble des itinéraires sont alarmants. Dans les conditions dans lesquelles sôest déroulée lôétude de terrain, on a pu montrer que le fait dôemprunter un itinéraire cyclable alternatif permet de diminuer lôexposition des cyclistes au Black Carbon, mais pas aux PM2,5.

Un questionnaire administré aux volontaires a permis dôapprécier lôattitude des cyclistes vis-à-vis de la pollution de lôair. Ceux-ci semblent, malgré lôintérêt porté à lôétude, montrer peu dôintérêt vis-à-vis de cette thématique. Ceci est confirmé pour lôensemble des cyclistes bruxellois après avoir consulté lôassociation cycliste professionnelle Pro Velo et lôadministration de lôéquipement et des déplacements Bruxelles Mobilité. Les cyclistes bruxellois semblent ne pas être disposés à déterminer leur itinéraire de déplacement en tenant compte de la qualité de lôair.

La politique cyclable bruxelloise ne prend pas en compte la qualité de lôair et le risque environnemental y étant lié.

Lôévaluation des risques et bénéfices sanitaires liés à la pratique du vélo en milieu urbain se base sur une analyse coût-bénéfice, et ne prend pas en compte les impacts liés à la morbidité. Aucune étude longitudinale permettant de garantir lôabsence dôeffets néfastes sur la santé des cyclistes dôune exposition régulière à long terme à la pollution de lôair nôa pu être trouvée.

Tout en ne niant pas les nombreux avantages sociétaux liés à la mise en î uvre dôune politique cyclable ambitieuse, lôétudiant ayant réalisé cette recherche dans le cadre de son travail de fin dôétudes se gardera de se joindre à lôaffirmation suivant laquelle les bénéfices sanitaires liés à la pratique régulière dôune activité physique comme le vélo compensent largement les risques liés à lôexercice de cette pratique dans un environnement urbain exposant à la pollution de lôair.

A cette fin, dôautres études permettant de lever les nombreuses incertitudes encore en cours sont indispensables.

7. Bibliographie

Albarello, L., Digneffe, F., Hiernaux, J.P., Maroy, C., Ruquoy, D. et de Saint-Georges, P. (2000). *Pratiques et méthodes de recherche en sciences sociales*. Paris : Armand Colin, 180p.

ATS / American Thoracic Society. (2000). What constitutes an adverse health effect of air pollution ? *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 161*, 665-673.

Appraisal. (2013). *Integrated Assessment Modelling for the design and implementation of Air Quality plans in EU Regions*. Bruxelles, 19 novembre. Disponible sur : http://www.appraisal-fp7.eu/site/meetings/annual-conference/brussels-2013.html

Barrett, J.R. (2013). Particulate matter and cardiovascular disease: Researchers turn an eye toward microvascular changes. *Environmental Health Perspective*, *121*(9), A282.

Barton, H., Grant, M., Mitcham, C. et Tsourou, C. (2009). Healthy urban planning in European cities. *Health Promotion International*, *24*(S1), i91-i99.

Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Jonovic Andersen, Z., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W.W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Fosberg, B., Modig, L., Havulinna, A.S., Lanki, T., Turunen, A., Oftedal, B., Nystad, W., Nafstad, P., De Faire, U., Pedersen, N.L., Östenson, C.-G., Fratiglioni, L., Penell, J., Korek, M., Pershagen, G., Thorup Eriksen, K., Overvad, K., Ellermann, T., Eeftens, M., Peeters, P.H., Meliefste, K., Wang, M., Bueno-de-Mesquita, B., Sugiri, D., Krämer, U., Heinrich, J., de Hoogh, K., Key, T., Peters, A., Hampel, R., Concin, H., Nagel, G., Ineichen, A., Schaffner, E., Probst-Hensch, N., Künzli, N., Schindler, C., Schikowski, T., Adam, M., Phuleria, H., Vilier, A., Clavel-Chapelon, F., Declercq, C., Grioni, S., Krogh, V., Tsai, M.-Y., Ricceri, F., Sacerdote, C., Galassi, C., Migliore, E., Ranzi, A., Cesaroni, G., Baldaloni, C., Forastiere, F., Tamayo, I., Amiano, P., Dorronsoro, M., Katsoulis, M., Trichopoulou, A., Brunekreef, B. et Hoek, G. (2013). Effect of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicenter ESCAPE project. [Document électronique]. *The Lancet*. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3

Boogaard, H., Borgman, F., Kamminga, J. et Hoek, G. (2009). Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. *Atmospheric Environment*, *43*(27), 4234-4242.

Bos I., Vanparijs J., De Boever P., Pattyn N., Int Panis L. et Meeusen R. (2013). Urban air pollution exposure during aerobic training: effects on inflammatory markers and cognition. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45*(3), 439ï 447.

Brook, R.D., Rajagopalan, S., Arden Pope III, C., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A.V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R.V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C., Jr, Whitsel, L. et Joel D. Kaufman. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease : An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation, 121*, 2331-2378.

Brown, B.B., Smith, K.R., Hanson, H., Fan, J.X., Kowaleski-Jones, L. et Zick, C.D. (2013). Neighborhood design for walking and biking: Physical activity and body mass index. *American Journal of Preventive Medicine, 44*(3), 231-238.

Bruxelles Mobilité. (2011a). *Plan de mobilité Iris 2.* Région de Bruxelles-Capitale. Bruxelles, 144p.

Bruxelles Mobilité. (2011b). *Vademecum vélo en Région de Bruxelles-Capitale ï Plan vélo 2010-2015 ï Bruxelles passe à la vitesse supérieure.* Bruxelles : Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, Administration de lôéquipement et des déplacements, 82p.

Bruxelles Mobilité. (2013). *Cahiers de lôObservatoire de la mobilité de la Région de Bruxelles-Capitale 2 ï Les pratiques de déplacement à Bruxelles.* Bruxelles : Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, Administration de lôéquipement et des déplacements, 110p.

Bruxelles Mobilité. (2014). Les Itinéraires Cyclables Régionaux. Disponible sur: http://www.bruxellesmobilite.irisnet.be/articles/velo/itineraires-cyclables

BYPAD / Bicycle Policy Audit. (2003). *BYPAD, Bicycle Policy Audit ï The most efficient method for improving your local and regional cycling policy.* Gratz, Autriche. Disponible sur : http://www.bypad.org/cms_site.phtml?id=552&sprache=en

Cole-Hunter, T., Morawska, L., Stewart, I., Jayaratne, R. et Solomon, C. (2012). Inhaled particle counts on bicycle commute routes of low and high proximity to motorised traffic. *Atmospheric Environment, 61*, 197-203.

Cole-Hunter, T., Morawska, L., Stewart, I., Hadaway, M., Jayaratne, R., Solomon, C. (2013). Utility of an alternative bicycle commute route of lower proximity to motorised traffic in decreasing exposure to ultra-fine particles, respiratory symptoms and airway inflammation ï a structured exposure experiment. *Environmental Health, 12*(29).

Cornelis, E., Hubert, M., Huynen, P., Lebrun, K., Patriarche, G., De Witte, A., Creemers, L., Declercq, K., Janssens, D., Castaigne, M., Hollaert, L. et Walle, F. (2010). *La mobilité en Belgique en 2010:*

résultats de lôenquête BELDAM. Bruxelles : Politique Scientifique Fédérale et Service public fédéral Mobilité et Transports, 350p.

De Hartog, J.J., Boogaard, H., Nijland, H. et Hoek, G. (2010). Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental health perspectives, 118*(8), 1109-1116.

de Nazelle, A., Nieuwenhuijsen, M.J., Antó, J.M., Brauer, M., Briggs, D., Braun-Fahrlander, C., Cavill, N., Cooper, A.R., Desqueyroux, H., Fruin, S., Hoek, G., Int Panis, L., Janssen, N., Jerrett, M., Joffe, M., Andersen, Z.J., Van Kempen, E., Kingham, S., Kubesch, N., Leyden, K.M., Marshall, J.D., Matamala, J., Mellios, G., Mendez, M., Nassif, H., Ogilvie, D., Peiró, R., Pérez, K., Rabl, A., Ragettli, M., Rodríguez, D., Rojas, D., Ruiz, P., Sallis, J.F., Terwoert, J., Toussaint, J.-, Tuomisto, J., Zuurbier, M. et Lebret, E. (2011). Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment. *Environment international, 37*(4), 766-777.

de Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N. et Nieuwenhuijsen M. (2012). A travel mode comparison of commutersô exposures to air pollutants in Barcelona. *Atmospheric Environment, 59*, 151-159.

Department for Transport. (2014). *Bikeability ï Cycling proficiency for the 21st century*. Londres. Disponible sur: https://bikeability.dft.gov.uk /

Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 *concernant la qualité de lôair ambiant et un air pur pour lôEurope,*. (2008). Journal officiel de lôUnion européenne, N° L152/1.

ESP / Ecole de Santé Publique. (2013). *Deuxième Journée de Santé Environnementale de lôUniversité Libre de Bruxelles ï Qualité de lôAir et Vulnérabilités*. ULB. Bruxelles, 22 novembre. Programme disponible sur : http://www.ieb.be/IMG/pdf/jse_esp_ulb_22nov13.pdf

Fechner G.T. (1860). *Element der Psychophysik*. Leipzig : Breitskopf and Härtel.

Giles, L., V. et Koehle, M., S. (2013). The health effects of exercising in air pollution. *Sports Medicine*, 27p., doi : 10.1007/s40279-013-0108-z.

Google. (2014). *Google Maps*. Californie. Disponible sur : www.google.com/maps/

Hagler, G.S.W., Yelverton, T.L.B., Vedantham, R., Hansen, A.D.A. et Turner J.R. (2011). Post-processing method to reduce noise while preserving high time resolution. in aethalometer real-time black carbon data. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(5), 539-546.

Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Barreau, G., Goldberg, M., Farrell, W., Crouse, D. et Ross, N. (2013). A web-based route planning tool to reduce cyclists' exposures to traffic pollution: a case study in Montreal, Canada. *Environmental Research*, 4p., doi : 10.1016/j.envres.2013.03.004i.

Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Dugum, H., Pickett, G., Miranda-Moreno, L., Kulka, R., Andersen, R. et Goldberg, M. (2013). The impact of traffic volume, composition, and road geometry on personal air pollution exposures among cyclists in Montreal, Canada. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, *23*(1), 46-51.

Hertel, O., Hvidberg, M., Ketzel, M., Storm, L. et Stausgaard, L. (2008). A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure - A study on bicycle and bus trips in urban streets. *Science of the Total Environment*, *389*(1), 58-70.

Houston, D., Wu, J., Yang, D. et Jaimes, G. (2013). Particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in transportation microenvironments. *Atmospheric Environment*, *71*, 148-157.

IBSA / Institut Bruxellois de Statistique et dôAnalyse. (2014). *Evaluation annuelle de la population par sexe*. [Fichier de données]. Version mise à jour le 09/07/2014. Bruxelles. Document au format Excel disponible sur http://www.ibsa.irisnet.be/themes/population#.U-KTn_l_vjU

Int Panis, L., De Geus, B., Vandenbulcke, G., Willems, H., Degraeuwe, B., Bleux, N., Mishra, V., Thomas, I. et Meeusen, R. (2010). Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. *Atmospheric Environment*, *44*(19), 2263-2270.

Int Panis, L., Meeusen, R., Thomas, I., de Geus, B., Vandenbulcke-Passchaert, G., Degraeuwe, B., Torfs, R., Aertsens, J., Willems, H.et Frère, J. (2011). *Systematic analysis of health risks and physical activity associated with cycling policies. « SHAPES » :* Final report. Bruxelles : Belgian Science Policy. (Research Programme Science for a Sustainable Development), 117p.

IBGE / Institut Bruxellois pour la Gestion de lõEnvironnement. (2002). *La lutte contre la pollution atmosphérique dans la Région de Bruxelles-Capitale ï Plan dôamélioration structurelle de la qualité de lôair et de lutte contre le réchauffement climatique ï 2002-2010.* Bruxelles, 105p.

IBGE. (2006). *Air bruxellois et transport*. Rédigé par Squilbin, M. *et al*. Bruxelles : Département Données et Plans, 282p.

IBGE. (2009). *Synthèse de lôétat de lôenvironnement 2007-2008.* Bruxelles, 35p.

IBGE. (2011). *Synthèse des émissions atmosphériques en Région de Bruxelles-Capitale en 2008 (Soumission 2011 des inventaires)*. Rédigé par Bodarwé, L. Bruxelles, 4p.

IBGE. (2012). *La qualité de lôair en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à lôémission 2009-2011*. Bruxelles, 363p.

IBSR / Institut Belge pour la Sécurité Routière. (2007). *Vademecum vélo en Région de Bruxelles-Capitale ï Réalisation des pistes cyclables marquees et des bandes suggérées.* Rédigé par Vertriest,

M. Bruxelles : Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, Administration de lôéquipement et des déplacements, 42p.

IRCELINE / Cellule Interrégionale de lôEnvironnment. (2014). *Cellule Interrégionale de lôEnvironnement.* Disponible sur: http://www.irceline.be/

IRM / Institut Royal Météorologique. (2014). *Météo ï Observations en Belgique*. Disponible sur : http://www.meteo.be/meteo/view/fr/123386-Observations.html

Jacobs, L., Nawrot, T. S., de Geus, B., Meeusen, R., Degraeuwe, B., Bernard, A., Sughis, M., Nemery, B. et Int Panis, L. (2010). Subclinical responses in healthy cyclists briefly exposed to traffic-related air pollution: an intervention study. *Environmental Health*, *9*(64), 8p.

Jarjour, S., Jerret, M., Westerdahl, D., de Nazelle, A., Hanning, C., Daly, L., Lipsitt, J. et Balmes, J. (2013). Cyclist route choice, traffic-related air pollution, and lung function : a scripted exposure study. *Environmental Health, 12*(14).

Kendrick, C., Moore, A., Haire, A., Bigazzi, A., Figliozzi, M., Monsere, C. et George, L. (2011). Impact of bicycle lane characteristics on exposure of bicyclists to traffic-related particulate matter. *Transportation Research Record, 2247*, 24-32.

Knibbs, L.D., Cole-Hunter, T. et Morawska, L. (2011). A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects. *Atmospheric Environment, 45*(16), 2611-2622.

Louwies, T., Int Panis, L., Kicinski, M., De Boever, P. et Nawrot, T.S. (2013). Retinal microvascular responses to short-term changes in particulate air pollution in healthy adults. *Environmental Health Perspectives*, *21*(9), 1011-1016.

Maxwell, J.A. (1999). *Modélisation de la recherche qualitative: une approche interactive.* Firbourg : Universitaires de Fribourg, 202p.

Macmillan, A., Connor, J., Witten, K., Kearns, R., Rees, D. et Woodward, A. (2014). The societal costs and benefits of commuter bicycling : simulating the effects of specific policies using system dynamics modeling. *Environmental Health Perspectives, 122*(4), 335-344.

Mac Naughton, P., Melly, S., Vallarino, J., Adamkiewicz, G. et Spengler, J.D. (2014). Impact of bicycle route type on exposure to traffic-related air pollution. *Science of the Total Environment, 490*, 37-43.

McNeil, N. (2011). Bikeability and the 20-min neighborhood: How infrastructure and destinations influence bicycle accessibility. *Transportation Research Record, 2247*, 53-63.

Mermier, C.M., Samet, J.M., Lambert, W.E. et Chick, T.W. (1993). Evalutation of the relationship between heart rate and ventilation for epidemiologic studies. *Archives of Environmental Health: An International Journal, 48*(4), 263-269.

Newman, P. et Matan, A. (2012). Human mobility and human health. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 4*, 420-426.

Nyhan, M., McNabola, A. et Misstear, B. (2014). Comparison of particulate matter dose and acute heat rate variability response in cyclists, pedestrians, bus and train passengers. *Science of the Total Environment,468*, 821-831.

Oberdörster, G., Oberdörster, E. et Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicoloty: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine Particules. *Environmental Health Perspectives, 113*(7), 823-839.

Oja, P., Titze, S., Bauman, A., De Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B. et Kohlberger, T. (2011). Health benefits of cycling: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 21*(4), 496-509.

Perez, L., Declercq, C., Iñiguez, C., Aguilera, I., Badaloni, C., Ballester, F., Bouland, C., Chanel, O., Cirada, FB., Forastiere, F., Forsberg, B., Haluza, D., Hedlund, B., Cambra, K., Lacasaña, M., Moshammer, H., Otorepec, P., Rodriguez-Barranco, M., Medina, S. et Künzli, N. (2013). Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network). *The European respiratory Journal,42*(3), 594-605.

Peters, A., Von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, E. et Löwel, A. (2004). Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *The New England Journal of Medicine, 351* (17), 1721-1730.

POLIS / European cities and regions networking for innovative transport solutions. (2011). Disponible sur : http://www.polisnetwork.eu/

POLIS. (2013). *How to make the link between health and transport ?* Polis working group meeting, Active Mobility and Health, Bruxelles, 19 septembre.

Pro Velo. (2014a). *Les cyclistes à Bruxelles : qui sont-ils ? Résultats de l'enquête menée en 2013*. Bruxelles, 17p.

Pro Velo. (2014b). *Observatoire du vélo en Région de Bruxelles-Capitale : Rapport 2013*. Bruxelles, 27p.

Pucher, J. et Buehler, R. (2010). Walking and cycling for healthy cities. *Built Environment, 36*(4), 391-414.

RBC / Région de Bruxelles Capitale. (2013). *Réseau de voiries ï Carte 5*. [carte]. Echelle 1: 25.000. Bruxelles : Plan Régional de Développement Durable. Disponible sur : http://www.prdd.be/les-cartes-du-prdd

RRU / Règlement Régional dôUrbanisme. *Titre VII ï La voirie, ses accès et ses abords.* Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 novembre 2006. Ministère de la Région de Bruxelles Capitale, Administration de lôAménagement du Territoire et du Logement.

Rydin, Y., Bleahu, A., Davies, M., Dávila, J.D., Friel, S., De Grandis, G., Groce, N., Hallal, P.C., Hamilton, I., Howden-Chapman, P., Lai, K-M., Lim, C.J., Martins, J., Osrin, D., Ridley, I., Scott, I., Taylor, M., Wilkinson, P. et Wilson, J. (2012). Shaping cities for health: Complexity and the planning of urban environments in the 21st Century. *The Lancet, 379*(9831), 2079-2118.

Science Direct. [Base de données]. Elsevier. Philadelphia, Etats-Unis dôAmérique. Disponible sur : http://www.sciencedirect.com/

Scopus. [Base de données]. Elsevier. Philadelphia, Etats-Unis dôAmérique. Disponible sur : <www-scopus-com>

SPF-MT / Service Public Fédéral Mobilité et Transports. (2011). *Recensement général de la circulation 2009 ï N°52*. Bruxelles: Service Mobilité, 104p.

Strak, M., Boogaard, H., Meliefste, K., Oldenwening, M., Zuurbier, M., Brunekreef, B. et Hoek, G. (2010). Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occupational and Environmental Medicine, 67*(2), 118-124.

Teschke, K., Reynolds, C. C.O., Ries, F.J., Gouge, B. et Winters, M. (2012). Bicycling: health risk or benefit? *University of British Colombia Medical Journal, 3*(2), 6-11.

ULB / Université Libre de Bruxelles. Service des bibliothèques. *Cible+*. [Moteur de recherche]. Bruxelles. Disponible sur : http://cibleplus.ulb.ac.be/

Vanderstraeten, P., Forton, M., Brasseur, O. et Offer, Z.Y. (2011). Black Carbon instead of particle mass concentration as an indicator for the traffic related particles in the Brussels Capital Region. *Journal of Environmental Protection, 2*(5), 525-532.

Vanderstraeten, P., Forton, M., Lénelle, Y., Meurrens, A., Carati, D., Brenig, L., Offer, Z.Y. et Zaady, E. (2010). Elevated PM10 concentrations and high PM2.5/PM10 ratio in the Brussels Urban Area during the 2006 car-free Sunday. *International of Environment and Waste Management, 6*(3-4), 264-279.

Von Elm, E., Altman, D.G., Egger, M., Pocock, S.J., Gøtzsche, P.C. et Vandenbroucke, J.P. (2007). The strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guideline for reporting observational studies. *The Lancet, 370*(9596), 1453-1457.

Weichenthal, S., Kulka, R., Dubeau, A., Martin, C., Wang, D., et Dales, R. (2011). Traffic-related air pollution and acute changes in heart rate variability and respiratory function in urban cyclists. *Environmental Health Perspectives, 119*(10), 1373-1378.

Weichenthal, S., Kulka, R., Bélisle, P., Joseph, L., Dubeau, A., Martin, C., Wang, D. et Dales, R. (2012). Personal exposure to specific volatile organic compounds and acute changes in lung function and heart rate variability among urban cyclists. *Environmental Research, 118*, 118-123.

Wernham, A. (2011). Health impact assessments are needed in decision making about environmental and land-use policy. *Health Affairs, 30*(5), 947-956.

WH0 / World Health Organisation. (2011). *Health economic assessment tools (HEAT) for walking and for cycling : Methodology and user guide. Economic assessment of transport infrastructure and policies.* Rédigé par Kahlmeier, S. *et al.* Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 39p.

Zuurbier, M., Hoek, G., Hazel, P. et Brunekreef, B. (2009). Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: an experimental study. *Environmental Health, 8*(48)

Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Meliefste, K., van den Hazel, P. et Brunekreef, B. (2011). Respiratory effects of commuterôs exposure to air pollution in traffic. *Epidemiology, 22*(2), 219-227.

Annexes

Table des annexes

annexe 1 : Les concentrations de Black Carbon et de PM2,5 relevées à la station 41R001 les jours dôitinéraire du mois de mars 2014 2
annexe 2: Formulaire d'information et de consentement éclairé 3
annexe 3: Grilles d'entretien d'experts 8
annexe 4: Questionnaire - Premier itinéraire 10
annexe 5: Questionnaire - Deuxième itinéraire 16
annexe 6: carte de l'itinéraire HIGH - Exemplaire volontaires 20
annexe 7: Carte de l'itinéraire LOW - Exemplaire volontaire 21
annexe 8**:** Symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des test effectués sur l'itinéraire LOW - événements ponctuels inclus 22

<u>Annexe 1 :</u> Les concentrations de Black Carbon et de PM2,5 relevées à la station 41R001 les jours d'itinéraire du mois de mars 2014

Date	BC (µg/m³)	PM2,5 (µg/m³)
7 mars	3,18	45
10 mars	5,76	55
11 mars	2,78	70
13 mars	6,33	87
14 mars	4,06	85
17 mars	1,88	32
18 mars	1,27	21
20 mars	1,63	18
24 mars	1,78	16
25 mars	2,61	27
27 mars	4,41	39
28 mars	5,74	53

annexe 2: Formulaire d'information et de consentement éclairé

Qualité de l'air à Bruxelles et cyclabilité

Catherine Bouland ï Jean-Michel Van Oosten

Introduction

Vous êtes invité à participer à un projet de recherche dans le cadre d'un travail de fin d'étude en gestion de l'environnement sous la supervision du Docteur en sciences, Professeur, Bouland, Catherine, promotrice du présent projet de mémoire, du Centre de recherche en santé environnementale et santé au travail et du mémorant Van Oosten, Jean-Michel, étudiant en gestion de l'environnement à l'Institut de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire (IGEAT) de l'Université Libre de Bruxelles (ULB).

Ce projet de recherche est destiné à montrer qu'en milieu urbain, le choix d'un itinéraire permet de réduire l'exposition des cyclistes à divers polluants atmosphériques

Avant que vous n'acceptiez de participer à cette étude, vous devez connaître l'organisation mise en place pour votre participation ainsi que les risques et avantages liés à votre participation afin de pouvoir prendre une décision informée. C'est ce que l'on appelle donner un « consentement éclairé ».

Veuillez lire attentivement ces quelques pages d'information et poser toutes les questions que vous souhaitez à l'investigateur ou à la personne qui le représente.

Si vous participez à cette recherche, vous devez savoir que :

- Votre participation est volontaire et nécessite la signature d'un consentement. Même après l'avoir signé, vous pouvez mettre un terme à votre participation en informant l'investigateur. Votre décision de ne pas ou de ne plus participer à l'étude n'aura aucun impact sur vos relations avec l'investigateur.
- Aucun frais ne vous sera facturé pour la participation à cette étude.
- Les données recueillies à cette occasion sont confidentielles et votre anonymat est garanti lors de la publication des résultats.

- Vous pouvez toujours contacter l'investigateur si vous avez besoin d'informations complémentaires.

Si vous participez à cette recherche, nous vous demandons :

- De collaborer pleinement au bon déroulement de cette recherche.
- De ne rien masquer comme information au sujet de votre état de santé.

Description du protocole de l'étude

Nous vous sollicitons pour participer à une étude de terrain dans laquelle 15 participants sains et non-fumeurs seront amenés à parcourir deux trajets de 6,5 kilomètres à vélo dans les rues des communes d'Ixelles, Bruxelles-Ville et Watermael-Boistfort. L'intervenant vous présentera les plans des deux trajets de façon détaillée avant chaque départ et vous renseignera alors sur les consignes de sécurité à respecter lors d'un déplacement effectué à vélo sur une voirie urbaine. En outre, l'intervenant vous accompagnera à vélo lors de chaque trajet, et une chasuble fluorescente vous sera fournie de

manière à vous rendre visible dans la circulation automobile. Les trajets auront une durée approximative de 30 minutes.

Au cas où vous accepteriez de participer à cette étude et si vous en remplissez tous les critères d'inclusion, il vous sera demandé au retour de chacun des deux trajets de remplir un questionnaire destiné à apprécier votre ressenti par rapport à chaque trajet venant d'être effectué. Il vous sera également proposé de répondre à quelques questions relatives aux symptômes respiratoires éventuellement survenus au cours du trajet.

L'intervenant prendra des mesures de la qualité de l'air à l'aide d'appareils qu'il transportera lui-même sur un vélo équipé.

En participant éventuellement à cette étude, nous espérons que vous en retiriez une expérience vous permettant éventuellement de vous sensibiliser davantage à la problématique de la qualité de l'air à Bruxelles.

Un inconvénient possible lié à la participation à la présente étude réside dans le fait d'être exposé à la pollution atmosphérique en pratiquant un effort physique modéré en voirie urbaine.

Enfin, toutes les mesures permettant de garantir au maximum votre sécurité seront mise en œuvre.

Consentement éclairé

Je déclare que j'ai été informé sur la nature de l'étude, son but, sa durée, les risques éventuels liés à la participation à l'étude et ce que l'on attend de moi.

J'ai eu suffisamment de temps pour y réfléchir et en parler avec une personne de mon choix comme un membre de ma famille.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions qui me sont venues à l'esprit et j'ai obtenu une réponse satisfaisante à mes questions.

J'ai compris que ma participation à cette étude est volontaire et que je suis libre de mettre fin à ma participation à cette étude sans que cela ne modifie mes relations avec les investigateurs.

J'ai compris que des données me concernant seront récoltées pendant toute ma participation à cette étude et que les investigateurs se portent garant de la confidentialité de ces données (cf. rubrique « Garanties de confidentialité » dans l'annexe « Droits et protection du participant »).

J'ai reçu une copie de l'information au participant et du consentement éclairé.

Nom, Prénom, date et signature du volontaire.

Je soussigné, étudiant en gestion de l'environnement, investigateur, confirme avoir fourni oralement les informations nécessaires sur l'étude et avoir fourni un exemplaire du document d'information au participant.

Je confirme qu'aucune pression n'a été exercée pour que le volontaire sain accepte de participer à l'étude et que je suis prêt à répondre à toutes les questions supplémentaires, le cas échéant.

Je confirme travailler en accord avec les principes éthiques énoncés dans la « Déclaration d'Helsinki » et la loi belge du 7 mai 2004, relative aux expérimentations sur la personne humaine.

Nom, prénom, date et signature de l'investigateur qui a obtenu le consentement

Van Oosten, Jean-Michel, le mars 2014

Droits et protection du participant

7.1.1. Participation volontaire

Avant de signer, n'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugez utiles. Prenez le temps d'en parler à une personne de confiance si vous le souhaitez. Votre participation à l'étude est volontaire : ceci signifie que vous avez le droit de ne pas y participer ou de vous retirer sans justification même si vous aviez accepté préalablement d'y participer. Votre décision ne modifiera en rien vos relations avec les investigateurs.

Si vous acceptez de participer à cette étude, vous signerez le formulaire de consentement éclairé. Un des investigateurs signera également ce formulaire et confirmera ainsi qu'il vous a fourni les informations nécessaires sur l'étude. Vous recevrez l'exemplaire qui vous est destiné.

Si vous décidez de participer à cette étude, aucune des procédures réalisées pour l'étude ne pourra vous être facturée.

Aucun dédommagement pour le temps consacré à votre participation ou les inconforts liés aux examens de l'étude n'est prévu.

7.1.2. Garantie de confidentialité

Votre participation à l'étude signifie que vous acceptez que les investigateurs recueillent des données vous concernant et les utilisent dans un objectif de recherche.

Vous avez le droit de demander aux investigateurs quelles sont les données collectées à votre sujet et quelle est leur utilité dans le cadre de l'étude. Vous disposez d'un droit de regard sur ces données et le droit d'y apporter des rectifications au cas où elles seraient incorrectes[20].

Les investigateurs ont un devoir de confidentialité vis à vis des données collectées. Ceci veut dire qu'ils s'engagent non seulement à ne jamais divulguer votre nom dans le cadre d'une publication ou d'un exposé mais aussi qu'ils prendront toutes les mesures indispensables à la protection de vos données (protection des documents sources, code d'identification, protection par mot de passe des bases de données créées)[21]. Les données personnelles collectées ne contiendront pas d'association d'éléments qui puissent permettre de malgré tout vous identifier[22].

Quand l'étude sera terminée (après validation des résultats et publication éventuelle[23]), les investigateurs s'engagent à détruire la base de données qui contient votre code d'identification, vos

[20] Ces droits vous sont garantis par la loi du 8 décembre 1992 (amendée par la loi du 11 décembre 1998) suivie de la directive 95/46/CE du 24 octobre 2002 qui protège la vie privée et par les droits des patients définis par la loi du 22 août 2002.

[21] En pratique, une liste faisant le lien entre votre identité (nom, prénom, numéro de téléphone) et votre code d'identification dans l'étude sera conservée séparément des données de recherche, dans le service et sous la responsabilité du 1er investigateur. Votre code d'identification sera utilisé dans la base des données de recherche, en regard de tous les résultats expérimentaux recueillis pendant votre participation à l'étude.

[22] La base de données contenant les résultats de l'étude ne contiendra pas d'association d'éléments comme vos initiales, votre sexe et votre date de naissance complète (jj/mm/aaaa).

[23] L'intégrité dans la recherche scientifique suppose que les résultats d'une recherche puissent être vérifiés, même après publication des résultats. Il est recommandé de conserver le lien entre données de recherche et

nom, prénom, de sorte quôil ne sera plus possible de faire le lien entre les données recueillies pendant lœétude et votre identité.

7.1.3. Contact

Si vous avez besoin dôinformations complémentaires, mais aussi en cas de problème ou dôinquiétude, vous pouvez contacter lôinvestigateur suivant : Van Oosten, Jean-Michel, 0472 83 79 61.

identité du participant au moins 5 ans après la publication des résultats. Pour les essais cliniques (études sur médicaments), la loi oblige à conserver ce lien durant 20 ans.

annexe 3: Grilles d'entretien d'experts

Date, Lieu	
Fonction de lôexpert	
Personnes présentes	
Brève présentation de lôintervenant et du projet de recherche	
Expliciter la raison de la demande dôentretien	

Liste des points à aborder par expert	
Bas de Geus (VUB)	• **Objectif : tirer parti de lôexpertise en matière dôeffets sur la santé de la pratique dôun sport en milieu urbain pour mettre au point un dispositif expérimental** • **Quelles sont les conseils à donner pour orienter le projet de recherche dans une direction originale tout en respectant le cadre dôambition dôun mémoire de Master** • **Lôoutil HEAT et les analyses coût-bénéfices pour évaluer les bénéfices sanitaires du vélo : un lien de causalité direct est-il montré ?** • **Discuter le graphe page 79 de lôétude Shapes (Int Panis et al, 2011)** • **Aborder lôaxe du comportement dôitinéraire**
Luc Int Panis (VITO)	• **Objectif : réflexion sur la mise au point dôun dispositif expérimental original**
Frederik Depoortere (Manager Velo Bruxelles Mobilité)	• **Objectif : avoir le point de vue dôun acteur en contact direct avec les décideurs politiques en matière de mobilité** • **Définir la cyclabilité** • **Comment le réseau dôitinéraires cyclables régionaux ont-ils été pensés ?** • **La qualité de lôair a-t-elle joué un rôle dans leur élaboration ?** • **Quels acteurs ont-ils été impliqués ? (Gouvernance)** • **Quels aspects prendre en compte dans le tracé de trajets utilisés dans le cas dôune étude comparative entre des itinéraires alternatifs à Bruxelles ?**
Etienne Holef (Pro Velo)	• **Objectifs : connaître la position de Pro Velo par rapport à la problématique liant vélo et qualité de lôair** • **Au moment de décider du tracé des itinéraires cyclables régionaux, Pro Velo a été concerté. La qualité de lôair a-t-elle joué un rôle ?** • **Aborder les enquêtes sur le profil des cyclistes bruxellois réalisées par Pro Velo : pourquoi les cyclistes semblent-ils accorder si peu dôimportance aux aspects « santé » et « pollution » ?** • **Le milieu associatif informe-t-il suffisamment les cyclistes sur la problématique santé-qualité de lôair ?**

Peter Vanderstraeten et Jean Landercy (IBGE)	• **Visite du laboratoire et explication détaillée du fonctionnement des différents appareils.** • **Question centrale : pourquoi les mesures dœexposition à la pollution de lôair effectuées à lôaide du dispositif expérimental utilisé au cours de lôétude de terrain diffèrent-elles tant des mesures rapportées par le réseau télémétrique bruxellois ?**

annexe 4: Questionnaire - Premier itinéraire

PARTIE A ï A REMPLIR AVANT LE DÉPART

8. Trajet effectué pour se rendre au point de départ de lôexercice

9. Vous êtes venu ici :

(1) à vélo
(2) en transports en commun
(3) en voiture
(4) à pied
(5) autre

Si « autre », précisez :

10. Questions état général

11. Comment est votre état général actuellement ?

(1) très mauvais (2) mauvais (3) assez bon (4) bon (5) très bon

12. Prenez-vous actuellement un traitement médicamenteux pour soigner un problème de santé dont vous souffririez ?

(1) oui

(2) non

Si oui, quel est le problème de santé que vous traitez actuellement ? :

13. Avez-vous jamais ressenti quelque problème lorsque vous pratiquez un effort physique ?

(1) oui

(2) non

Si oui, le(s)quel(s) ? :

14. Avez-vous été en contact passif avec de la fumée de tabac ?

(1) oui, fumeur(s) à domicile

(2) oui, soirée dans un endroit enfumé

(3) oui, autre : précisez :

(4) non

15. Vous sentez-vous capable physiquement de mener à bien lôexercice auquel il vous est demandé de prendre part aujourdôhui ?

(1) oui,

(2) non

PARTIE B ï A REMPLIR APRÈS CHAQUE RETOUR

Cette partie du questionnaire sera soumise aux participants dès après leur retour du parcours

16. Questions sur les impressions ressenties pendant le trajet

Les quelques questions suivantes sont destinées à apprécier votre ressenti par rapport à lôexercice physique venant dôêtre effectué au cours du trajet.

17. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti des difficultés à respirer ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

18. Au cours de lôexercice effectué, vous êtes-vous senti essoufflé ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

19. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous toussé ?

(1) jamais (2) une ou deux fois (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

20. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou un picotement au niveau du nez ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

21. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou une irritation au niveau de la gorge ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

22. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou un picotement au niveau des yeux ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

23. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous été incommodé par des odeurs particulières ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

24. Notez sur une échelle de 1 à 5 si vous êtes dôaccord avec lôaffirmation suivante: « Pendant mon trajet, jôai été incommodé par des odeurs gênantes que jôattribue à la proximité du trafic routier »

1 étant « pas du tout dôaccord », 5 « tout-à-fait dôaccord »

(1) (2) (3) (4) (5)

Pourriez-vous indiquer sur la carte ci-jointe représentant lôitinéraire parcouru aujourdôhui, à quel(s) endroit(s) du trajet vous auriez éventuellement ressenti une gêne respiratoire (odeur, picotement, toux) ?

N'hésitez pas à vous adresser à l'intervenant pour solliciter son aide.

PARTIE C ï A REMPLIR UNE SEULE FOIS

25. Renseignements signalétiques

26. Sexe : (1) F - (2) M

27. Âge : ans

28. Lieu de résidence : rue :

Code postal :

29. Quelle est lôadresse de votre lieu de travail/école ?

Rue : Code postal :

30. Niveau dôéducation :

(1) Enseignement primaire
(2) Enseignement secondaire inférieur
(3) Enseignement secondaire supérieur
(4) Enseignement supérieur non universitaire
(5) Enseignement supérieur universitaire

31. Catégorie socio-professionnelle :

(1) Profession libérale
(2) Cadre
(3) Indépendant
(4) Enseignant
(5) Employé
(6) Ouvrier
(7) (Pré)retraité
(8) Chercheur dôemploi
(9) Homme/Femme au foyer
(10) Étudiant
(11) Autre. Précisez :

32. De combien de personnes se compose votre ménage (vous y-compris)?

33. De combien de vélos dispose votre ménage ?

34. Questions sur les habitudes de déplacement à vélo

35. Ces derniers 12 mois, à quelle fréquence avez-vous utilisé un vélo lors de vos déplacements à Bruxelles ? *(Une seule réponse possible) :*

(1) Au moins 5 jours par semaine

(2) Un à quelques jours par semaine

(3) Un à quelques jours par mois

(4) Un à quelques jours par an

(5) Jamais

36. Lors de quels types de déplacement utilisez-vous un vélo à Bruxelles ? *(plusieurs réponses possibles)*

(1) se rendre au travail ou à lôécole

(2) faire les courses

(2) se rendre à des activités de loisir (cinéma, exposition, visite dôamis et famille, boire un verre)

(3) promenade de détente (vélo en tant quôactivité sportive inclus)

(4) jamais

*Si **jamais**, veuillez passer à la question 30, sinon passez à la question suivante.*

37. Lorsque vous effectuez un déplacement à vélo à Bruxelles, à quoi prêtez-vous attention lorsque vous déterminez votre itinéraire ?

*Pour les points suivants, veuillez noter le degré dô**importance sur une échelle de 1 à 5, **1 étant « pas du tout important », 5 étant « très important »***

a) Présence dôune infrastructure cyclable séparée du trafic apportant un sentiment de sécurité

(1) (2) (3) (4) (5)

b) Le trajet le plus court

(1) (2) (3) (4) (5)

c) Éviter le plus possible les montées

(1) (2) (3) (4) (5)

d) Éviter la présence dôun revêtement gênant (rails de tram, pavés)

(1) (2) (3) (4) (5)

e) Autre, précisez :

38. Questions liées à la qualité de lôair et à la pratique du vélo

39. Percevez-vous des variations de la qualité de lôair lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

40. Lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles, avez-vous déjà été incommodé par une qualité de lôair que vous jugeriez être mauvaise ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

41. Lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles, vous arrive-t-il de modifier votre itinéraire en raison dôune mauvaise qualité de lôair ?

(1) jamais (2) rarement (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

42. Vous est-il déjà arrivé de choisir un autre mode de déplacement que le vélo en raison dôune mauvaise qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) jamais (2) rarement (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

43. De manière générale, vous tenez-vous informé de lôévolution de la qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

44. Par quel canal vous tenez-vous informé de lôévolution de la qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) Site internet dôun organisme officiel (IBGE, CELINE)

(2) Média dôinformation (internet, télévision, radio)

(3) Presse écrite

(4) Application mobile

(5) Autre

45. Selon vous, quel est lôavantage principal lié à la pratique du vélo ? Choisissez une des propositions suivantes :

(1) Rapidité (2)Santé (3) Sport (4) Météo (5)Parking

46. Selon vous, quel est lôinconvénient principal lié à la pratique du vélo ? Choisissez une des propositions suivantes :

(1) Rapidité (2)Santé (3) Sport (4) Météo (5)Parking

Merci pour votre aimable collaboration !

annexe 5: Questionnaire - Deuxième itinéraire

PARTIE A ï A REMPLIR AVANT LE DÉPART

I. Trajet effectué pour se rendre au point de départ de lôexercice

47. Vous êtes venu ici :

(1) à vélo
(2) en transports en commun
(3) en voiture
(4) à pied
(5) autre

Si « autre », précisez :

II. Questions état général

48. Comment est votre état général actuellement ?

(1) très mauvais (2) mauvais (3) assez bon (4) bon (5) très bon

49. Prenez-vous actuellement un traitement médicamenteux pour soigner un problème de santé dont vous souffririez ?

(1) oui

(2) non

Si oui, quel est le problème de santé que vous traitez actuellement ? :

50. Avez-vous jamais ressenti quelque problème lorsque vous pratiquez un effort physique ?

(1) oui

(2) non

Si oui, le(s)quel(s) ? :

51. Avez-vous été en contact passif avec de la fumée de tabac ?

(1) oui, fumeur(s) à domicile

(2) oui, soirée dans un endroit enfumé

(3) oui, autre : précisez :

(4) non

52. Vous sentez-vous capable physiquement de mener à bien lôexercice auquel il vous est demandé de prendre part aujourdôhui ?

(1) oui,

(2) non

PARTIE B ï A REMPLIR APRÈS LE RETOUR

Cette partie du questionnaire sera soumise aux participants dès après leur retour du parcours

III. Questions sur les impressions ressenties pendant le trajet

Les quelques questions suivantes sont destinées à apprécier votre ressenti par rapport à lôexercice physique venant dôêtre effectué au cours du trajet.

53. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti des difficultés à respirer ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

54. Au cours de lôexercice effectué, vous êtes-vous senti essoufflé ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

55. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous toussé ?

(1) jamais (2) une ou deux fois (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

56. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou un picotement au niveau du nez ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

57. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou une irritation au niveau de la gorge ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

58. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous ressenti une gêne ou un picotement au niveau des yeux ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

59. Au cours de lôexercice effectué, avez-vous été incommodé par des odeurs particulières ?

(1) pas du tout (2) légèrement (3) modérément (4) fortement (5) très fortement

60. Notez sur une échelle de 1 à 5 si vous êtes dôaccord avec lôaffirmation suivante: « Pendant mon trajet, jôai été incommodé par des odeurs gênantes que jôattribue à la proximité du trafic routier »

1 étant « pas du tout dôaccord », 5 « tout-à-fait dôaccord »

(1) (2) (3) (4) (5)

Pourriez-vous indiquer sur la carte ci-jointe représentant lôitinéraire parcouru aujourdôhui, à quel(s) endroit(s) du trajet vous auriez éventuellement ressenti une gêne respiratoire (odeur, picotement, toux) ?

Nôhésitez pas à vous adresser à lôintervenant pour solliciter son aide.

IV. Questions liées à la qualité de lôair et à la pratique du vélo

61. Percevez-vous des variations de la qualité de lôair lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

62. Lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles, avez-vous déjà été incommodé par une qualité de lôair que vous jugeriez être mauvaise ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

63. Lors de vos déplacements à vélo à Bruxelles, vous arrive-t-il de modifier votre itinéraire en raison dôune mauvaise qualité de lôair ?

(1) jamais (2) rarement (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

64. Vous est-il déjà arrivé de choisir un autre mode de déplacement que le vélo en raison dôune mauvaise qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) jamais (2) rarement (3) parfois (4) souvent (5) très souvent

65. De manière générale, vous tenez-vous informé de lôévolution de la qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) jamais (2) parfois (3) souvent (4) très souvent (5) toujours

66. Par quel canal vous tenez-vous informé de lôévolution de la qualité de lôair à Bruxelles ?

(1) Site internet dôun organisme officiel (IBGE, CELINE)

(2) Média dôinformation (internet, télévision, radio)

(3) Presse écrite

(4) Application mobile

(5) Autre

67. Selon vous, quel est lôavantage principal lié à la pratique du vélo ? Choisissez une des propositions suivantes :

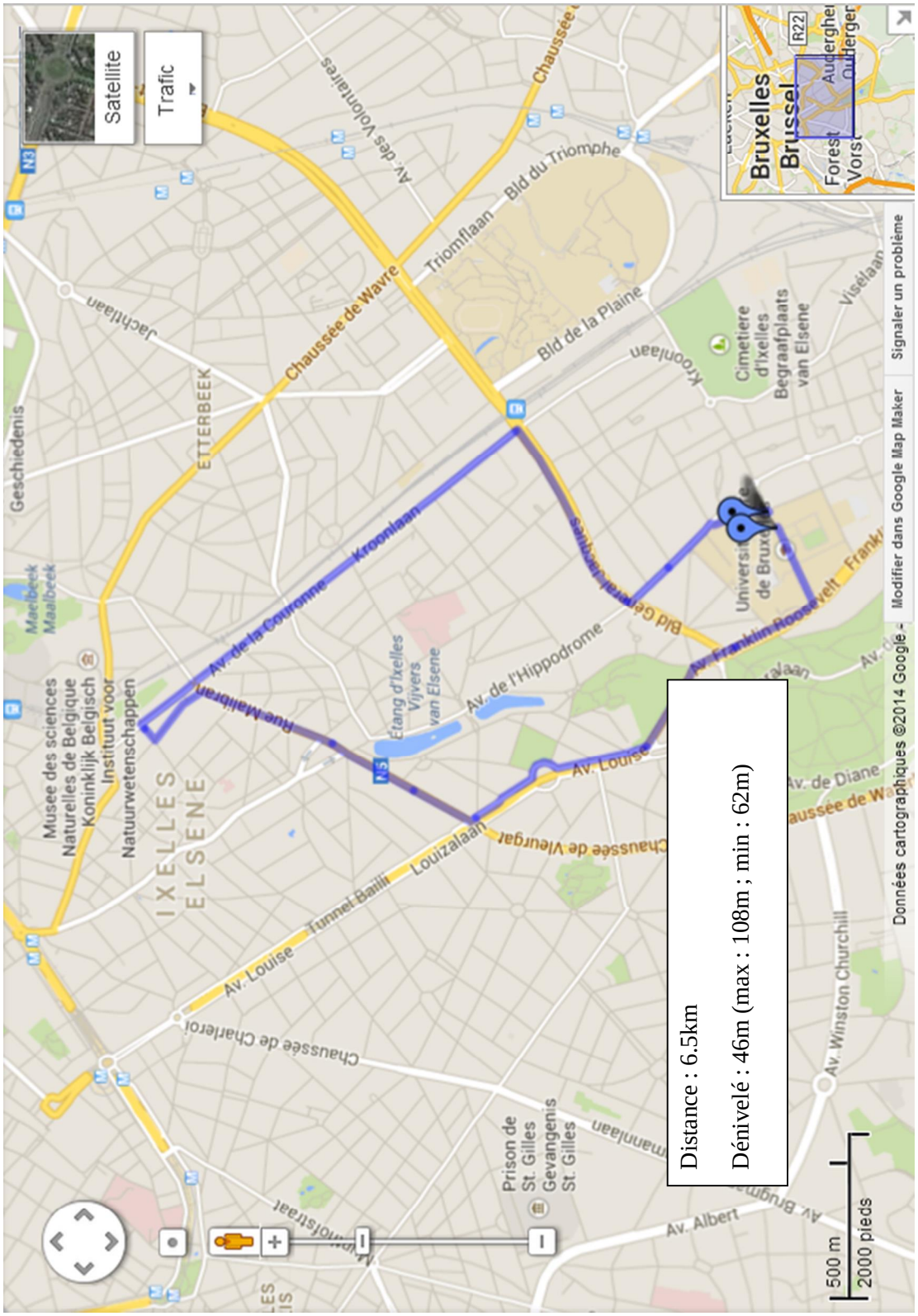
(1) Rapidité (2)Santé (3) Sport (4) Météo (5)Parking

68. Selon vous, quel est lôinconvénient principal lié à la pratique du vélo ? Choisissez une des propositions suivantes :

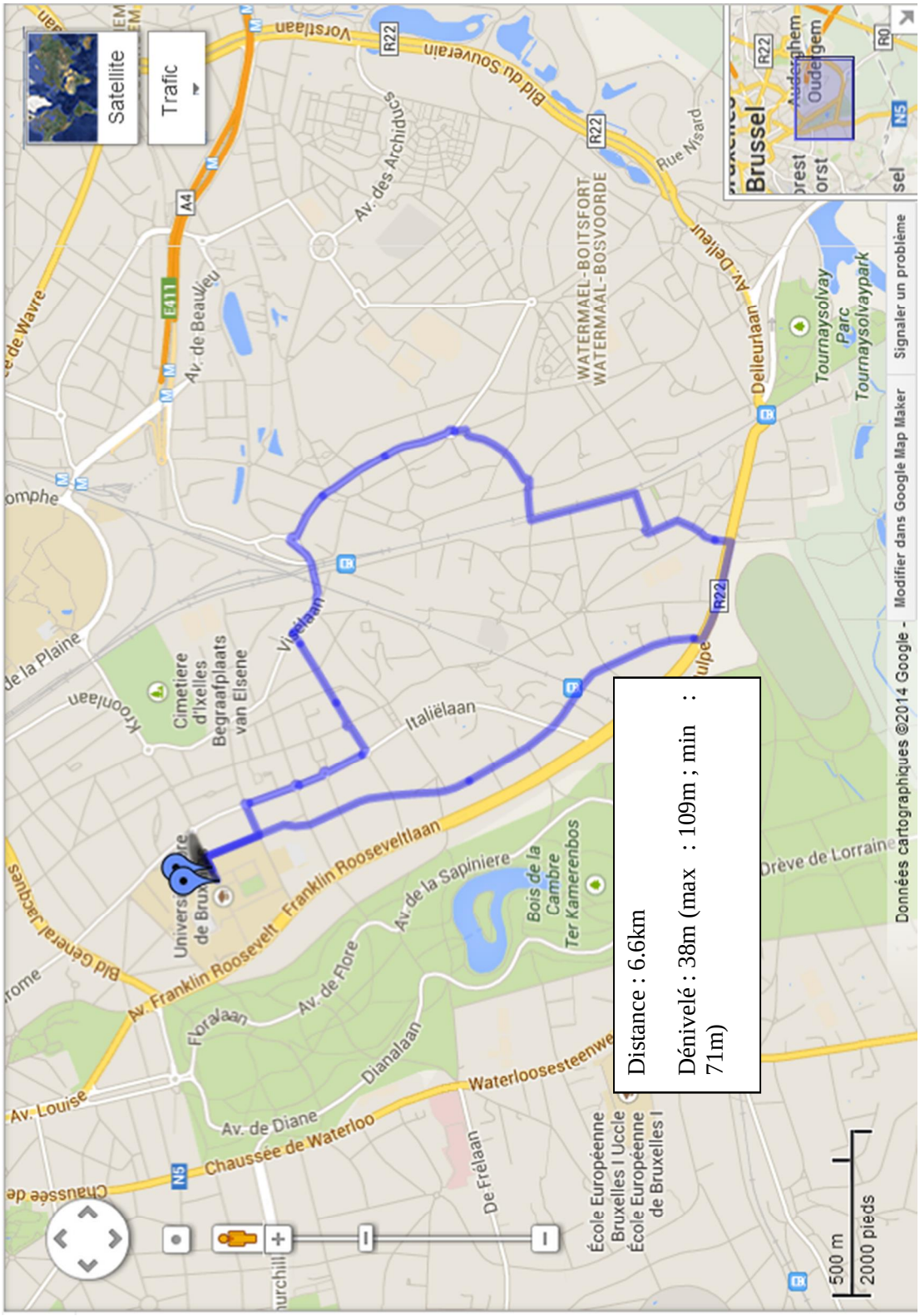
(1) Rapidité (2)Santé (3) Sport (4) Météo (5)Parking

Merci pour votre aimable collaboration !

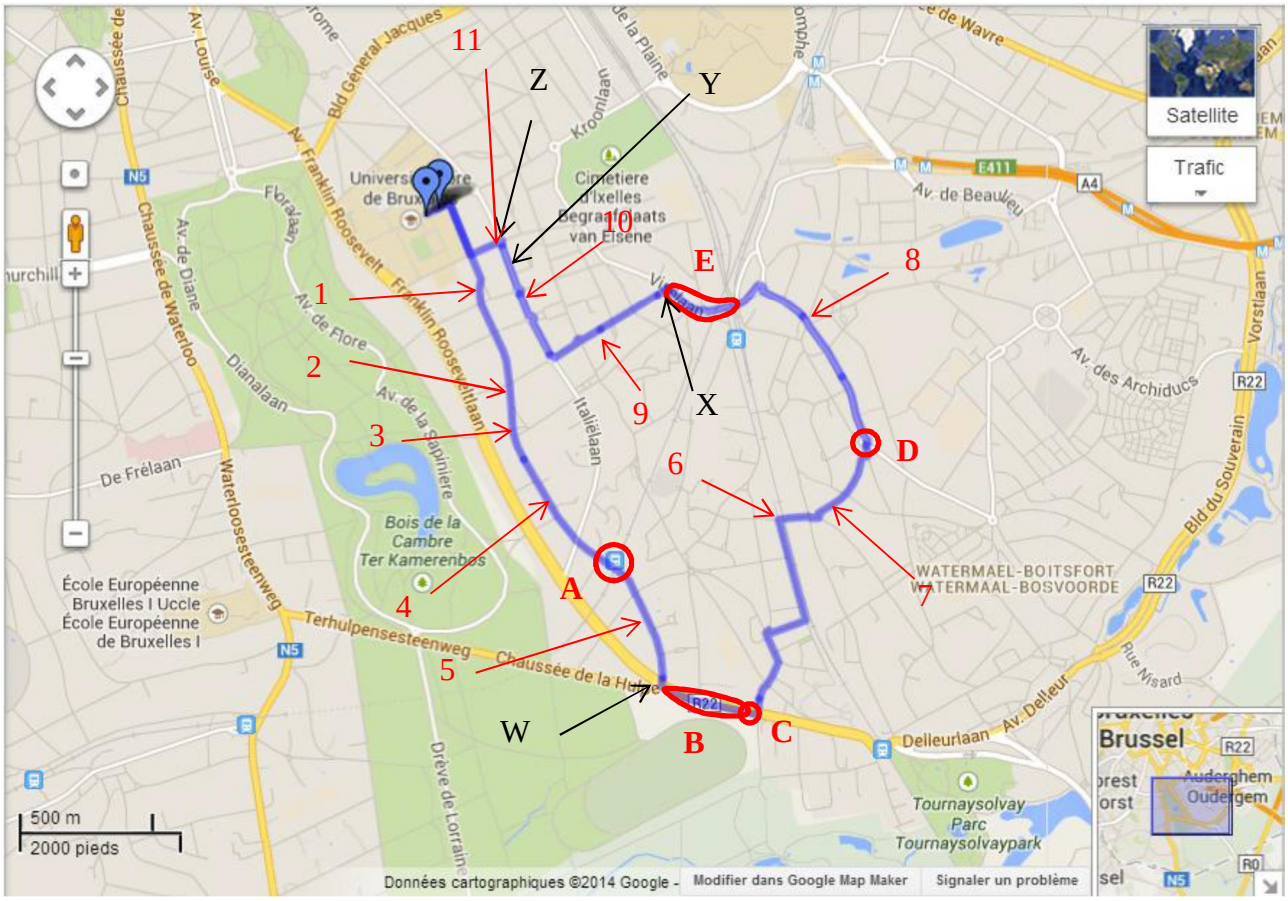
annexe 6: carte de l'itinéraire HIGH - Exemplaire volontaires



annexe 7: Carte de l'itinéraire LOW - Exemplaire volontaire



annexe 8: Symptômes rapportés sur carte pour l'ensemble des test effectués sur l'itinéraire LOW - événements ponctuels inclus[24]



Symptômes rapportés - événements objectivés par lôintervenant		Nombre dôoccurrences des symptômes rapportés par les participants en fonction des zones notées sur la carte (sur 17 participants)
A	Odeur ï chantier	8
B	Odeur ï intensité du trafic	1
C	Odeur ï file de voitures (feu de circulation)	7
D	Odeur ï carrefour	4
E	Odeur ï file de voitures (carrefour)	10
W	Gêne à la gorge	1
X	Gêne à la gorge et toux[25]	2
Y	Gêne à la gorge	1

[24] Par « événements ponctuels », on entend les événements à occurrence unique et nôétant pas liés à la configuration du lieu, côest-à-dire non susceptibles de se répéter au même endroit (un camion qui passe par exemple). Les bus ne sont pas repris dans cette catégorie, car ils suivent un trajet fixe. Si un cycliste emprunte une route également fréquentée par les bus, il se peut quôil en croise au moins un au cours de son déplacement.

[25] Symptômes rapportés par la même personne

Z	Toux	1
1	Odeur ï véhicule motorisé[26]	2
2	Odeur ï véhicule de chantier	2
3	Odeur ï véhicule motorisé	1
4	Odeur ï vélomoteur	1
5	Odeur ï camion-citerne de mazout	2
6	Odeur ï travaux dôasphaltage	2
7	Odeur ï véhicule motorisé	2
8	Odeur ï véhicule motorisé	1
9	Odeur ï véhicule motorisé	2
10	Odeur- camion poubelle	1
11	Odeur ï véhicule motorisé	1

[26] Voiture ou camionnette