

ExpAIR project

Belang en doestellingen van het ExpAIR project

Black carbon

Persoonlijke blootstelling aan black carbon

Cartografie van black carbon

**Impact van de straatgeometrie en de verkeersintensiteit op de
accumulatie van de polluenten**

Conclusie van de ExpAIR meetcampagne

Belang en doelstellingen van het ExpAIR project

Het belang van de luchtkwaliteit binnen Brussel

Het feit dat de concentraties van bepaalde verontreinigende stoffen sinds de jaren 70 sterk gedaald zijn, doet niets af aan het feit dat luchtverontreiniging, meer bepaald het gehalte aan fijne stofdeeltjes en stikstofdioxide, een zorgwekkend probleem blijft voor de gezondheid van de burgers. Verschillende studies tonen aan dat blootstelling aan deze polluenten de levensverwachting met meerdere maanden kan verminderen.

Dit fenomeen is des te belangrijk in grote steden, zoals Brussel, waar de inwoners geconfronteerd worden met zowel verontreiniging van de binnenlucht, in gebouwen, als buitenluchtverontreiniging. Deze laatste is voornamelijk afkomstig van de voertuigen die op de drukke stadswegen rondrijden en van de verwarmingsinstallaties.

De doelstellingen van het ExpAIR project

Het ExpAIR project ging van start in 2013. De doelstellingen waren de volgende:

- de blootstelling van de Brusselse bevolking aan de stedelijke luchtvervuiling evalueren. Hiertoe werden de concentraties van de polluenten die het meest representatief zijn voor de binnen- en buitenlucht gemeten en een bijhorende cartografie ontwikkeld.
- de burgers informeren en sensibiliseren aangaande hun blootstelling aan de stedelijke luchtvervuiling en hen stimuleren om deze te verminderen. Men kan bijvoorbeeld kiezen voor meer milieuvriendelijke transportmodi en/of verwarmingssystemen.

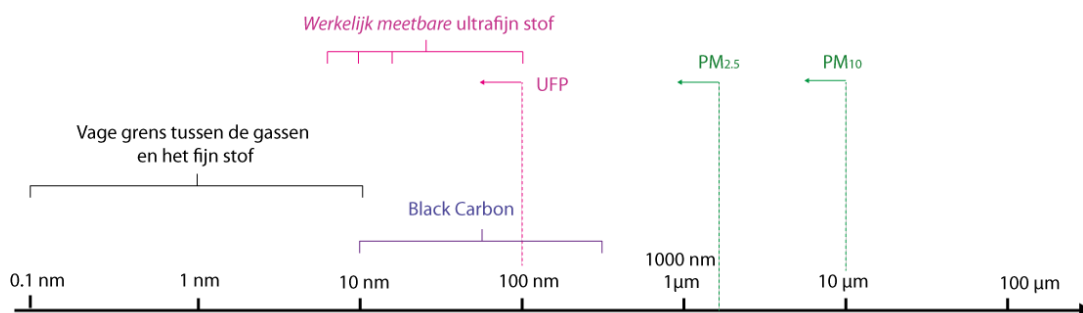
De schadelijke antropogene bestanddelen in de lucht zijn talrijk en bevatten onder andere: fijne stofdeeltjes (PM₁₀, PM_{2.5}), koolstofmonoxide (CO), ozon (O₃), stikstofoxides (NO_x) en de vluchtige organische stoffen (VOS). In het kader van dit project, werd geopteerd voor black carbon als referentiepolluent voor de buitenlucht. Black carbon maakt deel uit van de fijne stofdeeltjes.

Black carbon

Wat is black carbon?

Zoals zijn naam het reeds aangeeft, groepeer black carbon alle fijne stofdeeltjes bestaande uit koolstof en aldus 'zwart', hetgeen wil zeggen dat zij zeer sterk het licht absorberen.

De diameter van black carbon deeltjes varieert van 10-500 nm. Indien de dimensies groter zijn dan 100 nm, dan heeft men te maken met black carbon geassocieerd met andere pollutanten. Black carbon maakt derhalve integraal deel uit van de fractie PM₁₀ en PM_{2.5} en deels van de fractie ultrafijne deeltjes (UFP), met een diameter groter dan 100 nm (zie Figuur 1).



Figuur 1: Verschillende orde van grootte van de deeltjes in de buitenlucht.

Het voornaamste kenmerk van black carbon is dat het een pollutant betreft dewelke erg gelinkt is aan verbrandingsprocessen. Dat is de reden waarom het als 'roet' bestempeld wordt. In de stedelijke omgeving is **black carbon aldus een excellente indicator voor het wegverkeer** (verbranding in de motoren van voertuigen), **evenals voor de verwarming** (afhankelijk van het seizoen). Black carbon kan evenzeer gedetecteerd worden in industriële verbrandingsprocessen, maar deze sector is een randverschijnsel binnen het Brussels gewest.

Is black carbon gevaarlijk voor de gezondheid?

Black carbon deeltjes houden belangrijke gezondheidsrisico's in (kanker, cardiovasculaire aandoeningen, enz..) omdat ze erg diep kunnen doordringen in de longen en het bloed omwille van hun zeer kleine omvang (diameter voornamelijk tussen 10-150 nm). **De potentiële gezondheidsimpact van black carbon is significant. Echter, omdat deze pollutant nog maar recent bestudeerd wordt, dient zijn impact op lange termijn nog bevestigd te worden door epidemiologische studies. Bovendien treedt black carbon vaak op als 'drager' van andere**

polluenten, namelijk de polyaromatische koolwaterstoffen waarvan bepaalde onder hen kankerverwekkend zijn¹.

Hoe werd black carbon gemeten?

De black carbon wordt gemeten via een klein draagbaar apparaat (Figuur 2).



Figuur 2: Draagbaar apparaat voor het meten van black carbon.

De meting gebeurt als volgt: bemonsterde lucht wordt over een kwartsfilter gestuurd waarop de aanwezige deeltjes, waaronder black carbon, verzameld worden. Een lichtstraal, met een golflengte van 800 nm, uitgezonden door een diode, valt in op twee plaatsen op de kwartsfilter, namelijk: 1) deze waar zich de fijne stofdeeltjes bevinden (zwart) en 2) deze zonder deeltjes (wit). De black carbon concentratie wordt vervolgens berekend gebaseerd op waarde 1 minus waarde 2.

Het draagbaar apparaat heeft het mogelijk gemaakt om de plaatsen en de momenten waar men het meest is blootgesteld aan de vervuiling op te sporen.

¹ OMS (WHO Regional Office for Europe, 2012) :

'[...] there are not enough clinical or toxicological studies to (a) allow an evaluation of the qualitative differences between the health effects of exposure to black carbon or those of exposure to PM mass or (b) identify any distinctive mechanism of black carbon effects.

Black carbon may operate as a universal carrier of a wide variety of combustion-derived chemical constituents of varying toxicity to sensitive targets in the human body, such as the lungs, the body's major defense cells and, possibly, the systemic blood circulation.'

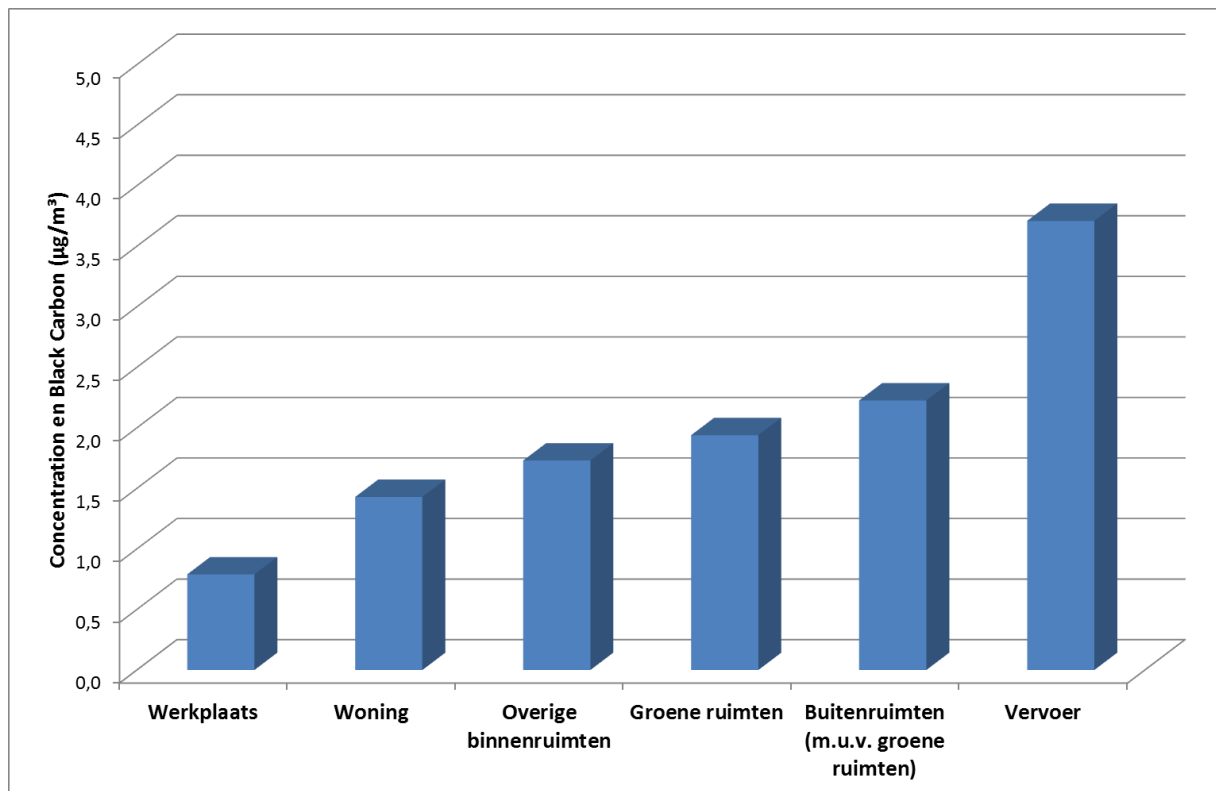
Persoonlijke blootstelling aan black carbon

De ExpAIR metingen gelanceerd in 2013

In totaal hebben 276 vrijwilligers deelgenomen aan de meetcampagne (2013-april 2017). Hierbij droeg elk van hen het draagbaar apparaat permanent bij zich gedurende een periode van vijf werkdagen (maandag tot vrijdag) om zo de persoonlijke blootstelling aan black carbon te meten. De deelnemers werden eveneens uitgenodigd om een dagboek bij te houden betreffende hun activiteiten, de gekozen reisroutes en transportmodi.

Deze campagne heeft het mogelijk gemaakt om de blootstellingen aan black carbon in verschillende binnen- en buitenmilieus te vergelijken (Figuur 3). Dit leverde de volgende conclusies op:

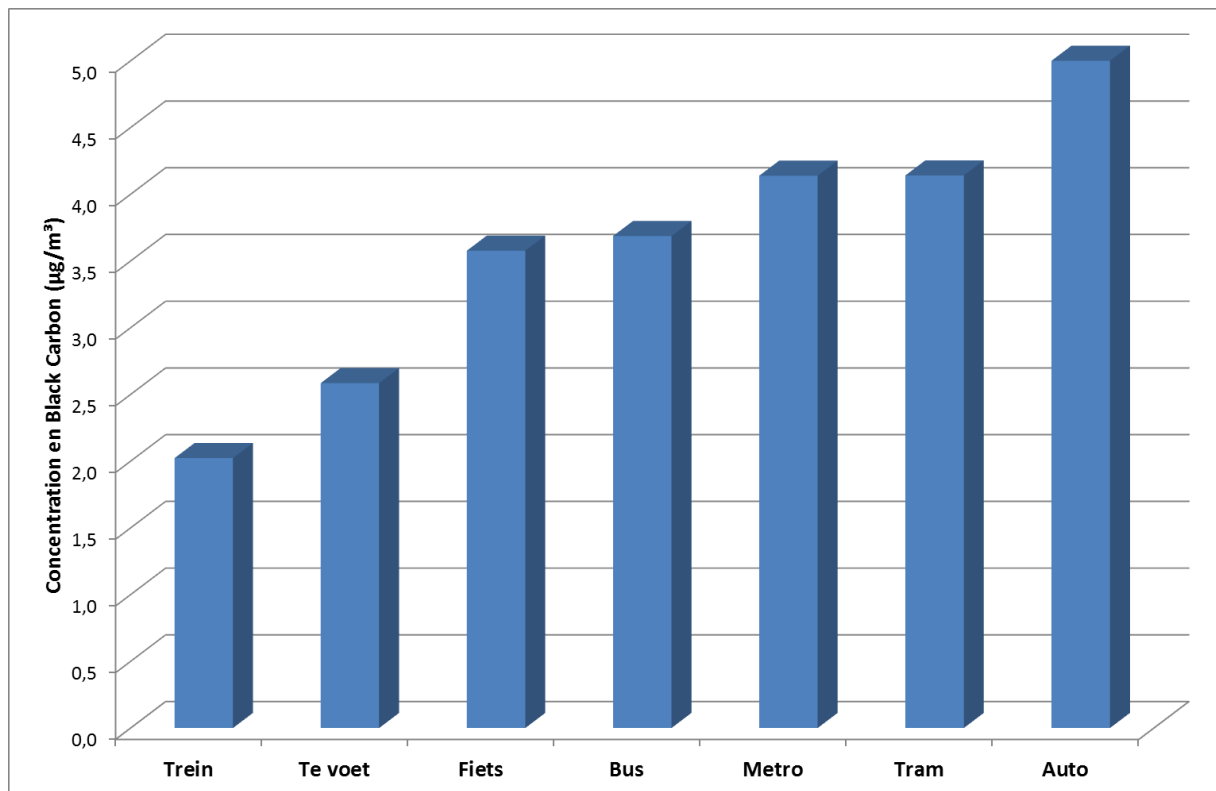
- In het algemeen is **onze blootstelling aan black carbon het grootst in het verkeer**. Gemiddeld is deze **drie keer hoger dan de achtergrondvervuiling of het gemiddelde pollutantniveau in de binnenlucht**.
- **De blootstelling binnen gebouwen, thuis of op de werkvloer, is laag en doorgaans vergelijkbaar met de achtergrondvervuiling**. Uitgedrukt in black carbon concentratie, heeft deze een grootteorde van $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **De laagste blootstelling werd gemeten op de werkvloer**. Er dient opgemerkt te worden dat ongeveer 50% van de deelnemers werkzaam was te Leefmilieu Brussel. De gemeten niveaus waren bijzonder laag omdat elk van de gebouwen uitgerust was met een mechanische ventilatie en een luchtaanzuig op het dak van het gebouw.



Figuur 3: Gemiddelde blootstelling van de deelnemers aan black carbon in de binnen- en buitenlucht op basis van de gegevens verzameld in het kader van de ExpAIR campagne.

Meer specifiek voor het transport werd het volgende geobserveerd (Figuur 4):

- De **automobilisten blijken het meest blootgesteld te zijn aan black carbon**, met blootstellingsniveaus die ongeveer 5 maal hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- De gebruikers van de bus, tram en metro, evenals de fietsers, zijn blootgesteld aan black carbon concentraties die 3 tot 4 keer hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- De **voetgangers zijn gevoelig minder blootgesteld**, met waarden die 2 tot 3 maal hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- De **treinreizigers zijn het minst blootgesteld** dankzij de treinbedding die doorgaans ver verwijderd ligt van de verkeersassen.



Figuur 4: Gemiddelde blootstelling van de deelnemers aan black carbon voor de verschillende transportmodi in het Brussels gewest.

Cartografie van black carbon

Modellering van black carbon en exploitatie van de verzamelde gegevens

Teneinde de gegevens die verzameld werden door de vrijwilligers zo goed mogelijk te benutten, werd een methodologie ontwikkeld om de black carbon concentraties, voor de meest pertinente en belangrijkste straten binnen het gewest, in kaart te brengen. Deze methodologie is gebaseerd op een luchtkwaliteitsmodel, gekoppeld aan een rekalfibratie met behulp van mobiele metingen.

De modelering is gebaseerd op een eenvoudig 'street canyon' model, dat de volgende inputgegevens gebruikt om de black carbon concentratiewaarden te berekenen:

- het aantal voertuigen per uur in elke straat alsook hun gemiddelde snelheid;
- de windsnelheid en de windrichting ter hoogte van de daken, uur na uur;
- de afmetingen van de straat, zijnde:
 - enerzijds de gemiddelde gebouwhoogte,
 - anderzijds de gemiddelde straatbreedte (afstand van de ene tot de andere voorgevel),
- de achtergrondconcentraties van black carbon gemeten door het telemetrisch meetnet (5 meetposten).

De rekalfibratie is gebaseerd op de uitgevoerde metingen van de deelnemers aan de meetcampagne en corrigeert op een statistische manier de ruwe modeldata. Deze methodologie laat toe om de onzekerheid gelinkt aan het model te verminderen en de gemodelleerde concentraties meer compatibel te maken met de geobserveerde concentraties.

Cartografie van black carbon voor het Brusselse gewest

Het in kaart brengen van de meest vervuilde verkeersassen was één van de doelstellingen van het ExpAIR project. Dankzij de black carbon concentratiekaart is het mogelijk om de gemiddelde concentraties van diverse straten binnen het gewest te vergelijken en evalueren. Ter herinnering, per straat betreft het de concentratiegemiddelden van het linkse en rechtse voetpad en dit over een lange periode. De concentratiekaart houdt bijgevolg geen rekening met de spatio-temporele variaties in het midden van de straat. Deze zijn onder andere afhankelijk van:

- De manier waarop de lokale luchtverplaatsing gebeurt, gegeven de lay-out van de straat (kruispunten, markten, enz,...) en de fijne details van de inrichting (bushokjes, bomen, enz,...)
- De precieze verkeersflux en meer bepaald van de verkeersopstopping. Concreet, als inputgegeven voor het model wordt het aantal voertuigen per uur gebruikt en niet de precieze verkeersflux, daar deze niet gekend is. De accumulatie-effecten van de pollutanten, gelinkt aan het vertragen, stoppen en optrekken van voertuigen bijvoorbeeld aan verkeerslichten en in files werden eveneens niet in rekening gebracht.

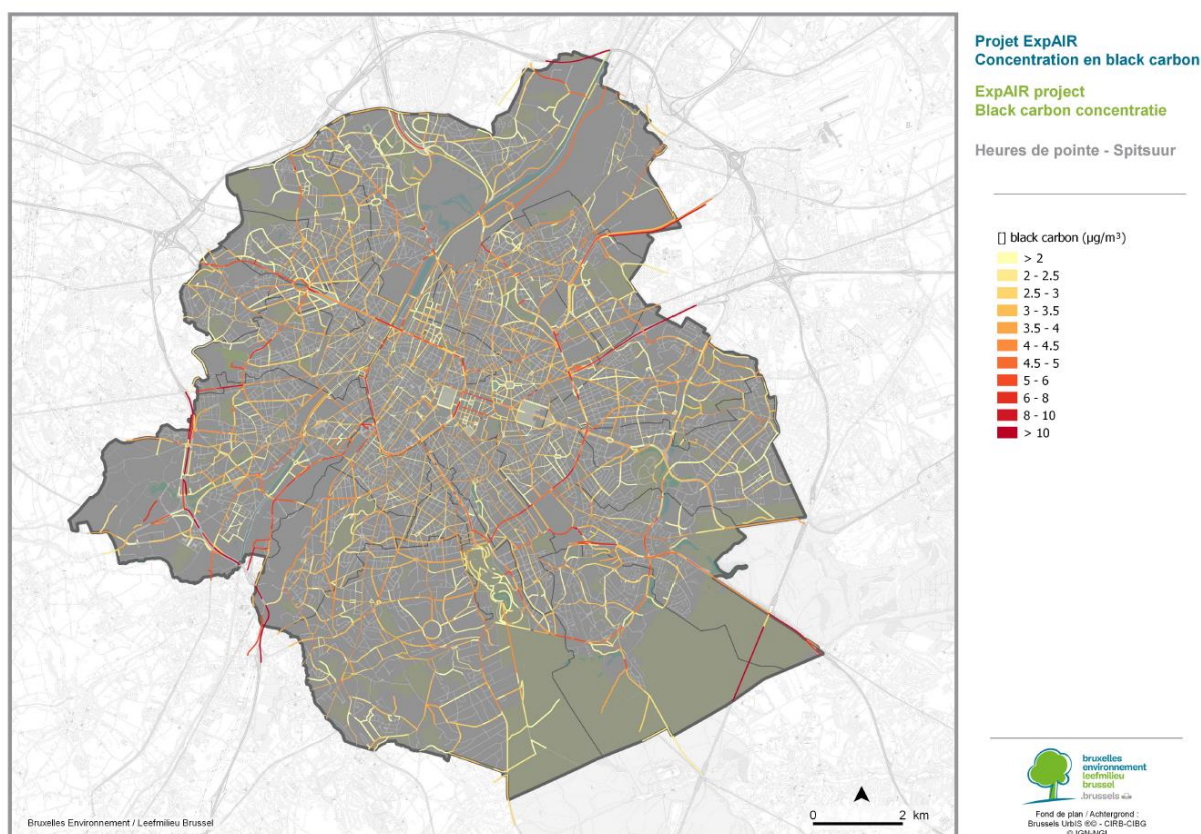
De resultaten voorgesteld in Figuren 5, 6 en 7 zijn concentratiegemiddelden over de periode 2014-2016 en geven inzicht in de huidige luchtkwaliteit. Ter herinnering, hiervoor werden blootstellingsgegevens van de drie jaar durende meetcampagne gebruikt.

Als we de waarde van 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als referentie nemen, overeenstemmende met de black carbon achtergrondconcentratie of het gemiddelde pollutie niveau in woningen, valt het op dat voor 73% van het Brussels wegennet de gemiddelde black carbon concentraties tijdens spitsuren 2-5 keer hoger liggen dan de referentiewaarde. Voor 4% van de wegen, wordt een waarde gemeten die 5 keer hoger ligt dan de referentiewaarde.

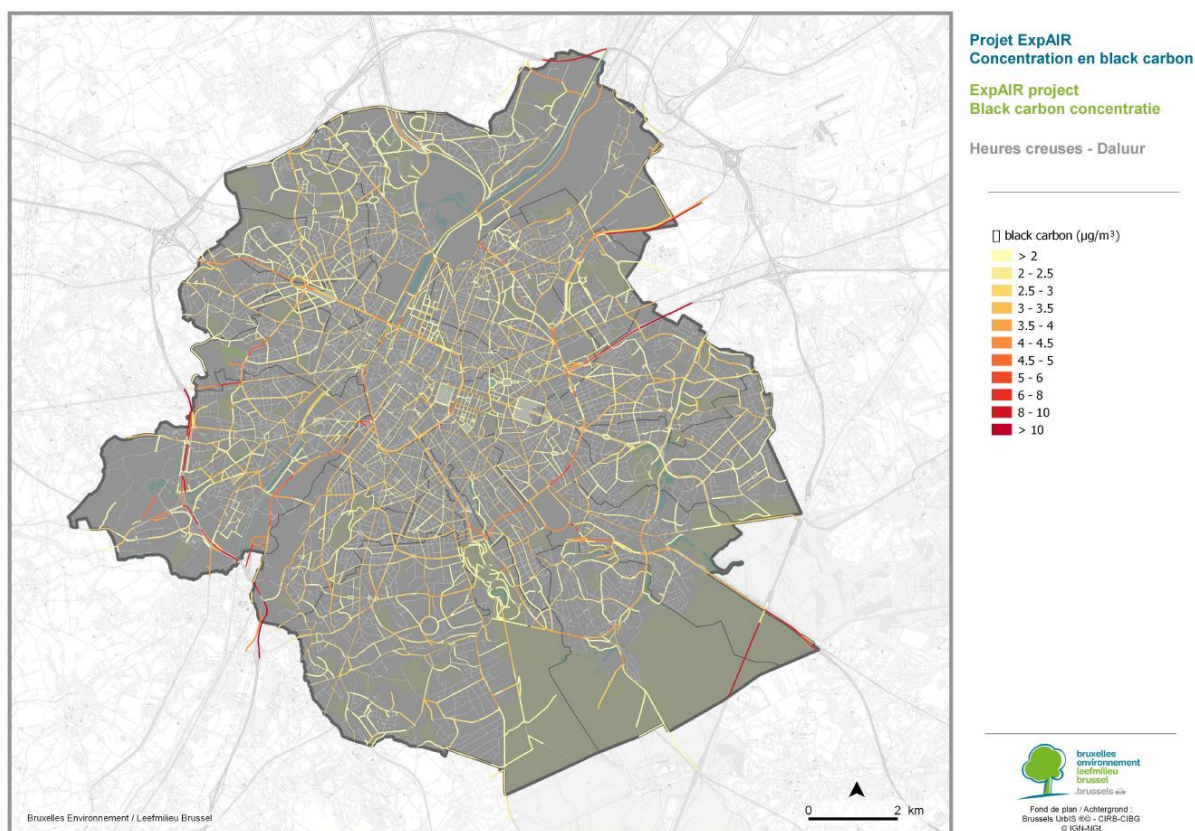
Onderstaande vindt men een detailweergave van de dagelijkse black carbon concentraties tijdens de spits- en daluren voor het ganse Brusselse wegennet:

	Spitsuren	Daluren
Tussen 1 en 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22 % (*)	44 %
Tussen 2 en 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	32 %	40 %
Tussen 3 en 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	32 %	13 %
Tussen 4 en 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9 %	2 %
Tussen 5 en 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 %	0,7 %
Meer dan 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5 %	0,2 %

(*) Percentage van het aantal wegen die opgenomen zijn in de cartografie



Figuur 5: Black carbon concentraties voor de belangrijkste straten van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest tijdens de ochtend- en avondspits . Referentieperiode 2014-2016.



Figuur 6: Black carbon concentraties in de belangrijkste straten van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest gedurende de dag tijdens de daluren. Referentieperiode 2014-2016.

Link om de mappen van black carbon te downloaden (PDF bestanden) :

- [Concentratiekaart black carbon tijdens de daluren](#)
- [Concentratiekaart black carbon tijdens de spitsuren](#)

Link naar WEBGIS :

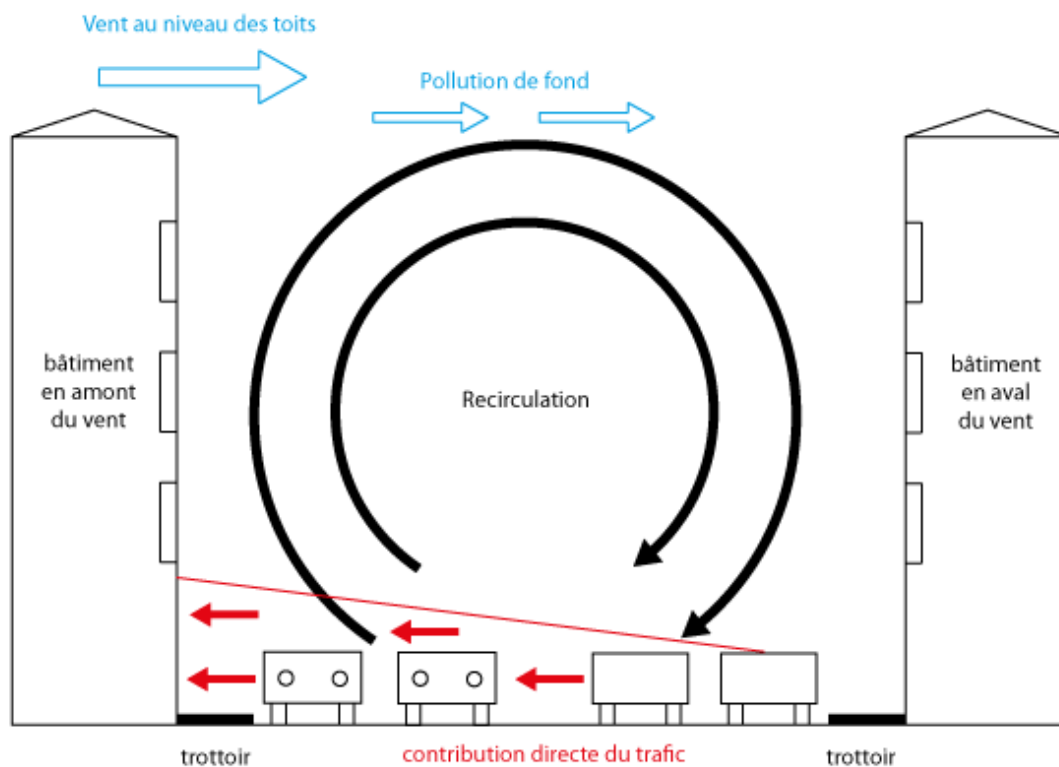
- FR : <http://geoportal.ibgebim.be/webgis/expair.phtml>
- NL : http://geoportal.ibgebim.be/webgis/expair_nl.phtml

Impact van de straatgeometrie en de verkeersintensiteit op de accumulatie van de polluenten

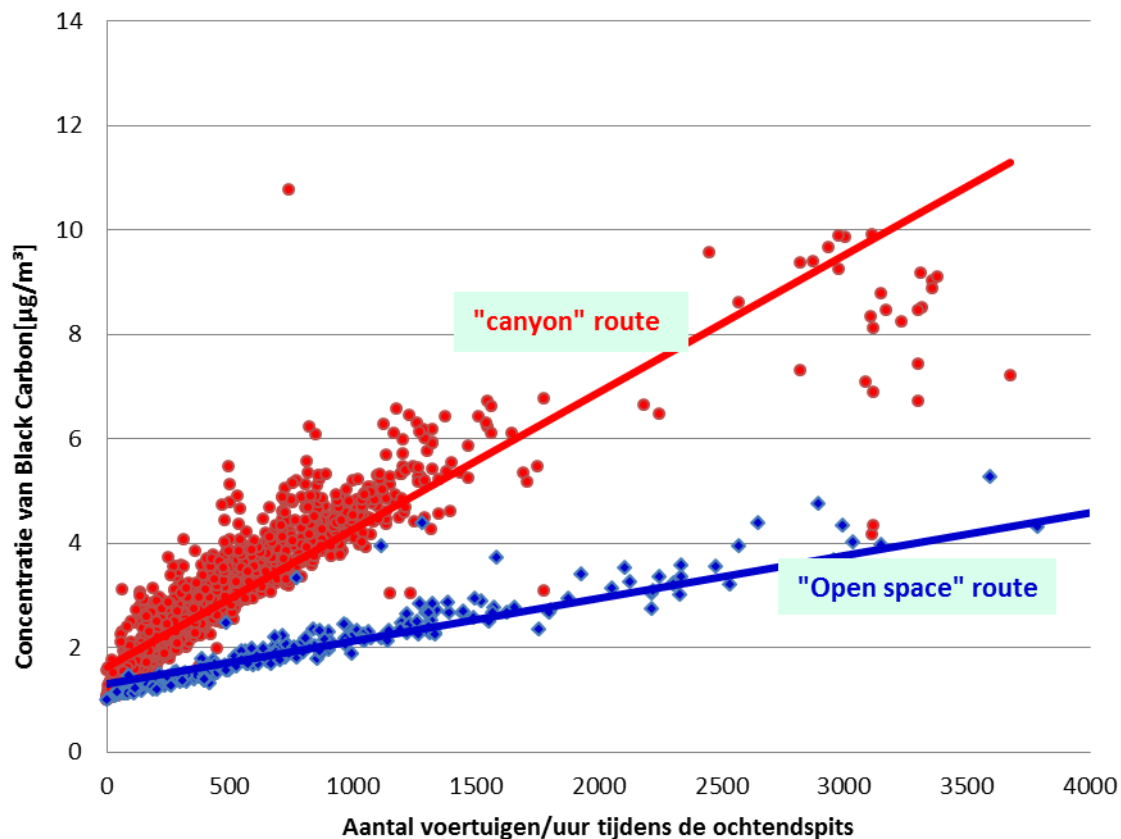
De gemiddelde black carbon concentratie in een straat hangt van verscheidene parameters af zoals de weersomstandigheden, de straatkarakteristieken, de verkeersintensiteit, de achtergrondvervuiling, enz. De twee meest significante parameters om black carbon concentratieverschillen tussen diverse straten te verklaren, zijn de straatgeometrie en de verkeersintensiteit.

Men spreekt van een 'canyon street' als de straat aan beide zijden ingesloten is door gebouwen. In tegenstelling, een 'open straat' bevat geen aangrenzende hindernissen. Op die manier wordt de verspreiding van de polluenten niet belemmerd. In een 'canyon street' berekent het model de black carbon concentraties voor het linkse en rechtse voetpad door rekening te houden met de recirculatie van de polluenten. (Figuur 7). In een open straat is er geen recirculatie, enkel de rechtstreekse bijdragen.

Het profiel van de recirculatie in de vorm van een vortex ontstaat door de invloed van de wind op dakhoogte die een accumulatie van polluenten veroorzaakt aan de windopwaartse zijde van de straat. Op deze wijze draagt de achtergrondvervuiling bij tot de lokale pollutie van het verkeer.



Figuur 7: Recirculatieprofiel van polluenten in een street canyon.



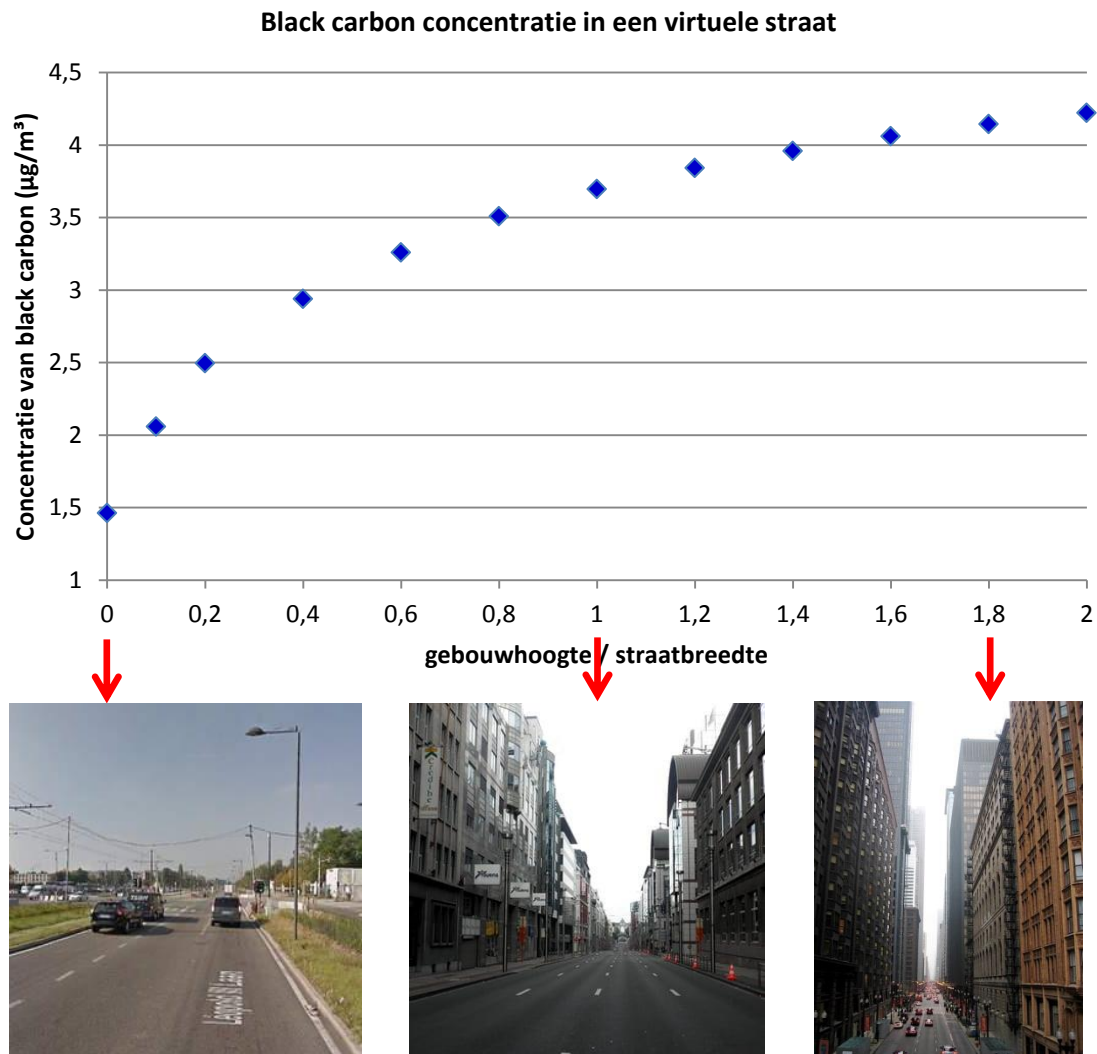
Figuur 8: Black carbon concentratie (gemiddelde van de linkse en rechtse voetpaden) in elke straat, uitgezet in functie van het aantal voertuigen/uur tijdens de ochtendspits, voor de canyon streets (bovenaan) en de open straten (onderaan).

Echter, de black carbon concentratie is sterk gecorreleerd met het aantal voertuigen in de straat, zoals aangegeven in Figuur 8. Hiertoe worden twee regimes onderscheiden:

- het **regime 'canyon street'**: een **snelle verhoging van de concentraties** in functie van het aantal voertuigen
- het **regime 'open straat'**: een **kleinere toename van de concentraties** in functie van het aantal voertuigen en dit omdat de pollutanten doorgaans beter verspreid worden.

De gemodelleerde black carbon concentraties en hun afhankelijkheid van de weggeometrie staat weergegeven in Figuur 9 en dit voor de periode van één jaar.

In de X-as staat de verhouding aangegeven tussen de gemiddelde gebouwhoogte en de straatbreedte. Indien deze verhouding gelijk is aan 1, dan is de straatbreedte gelijk aan de gebouwhoogte. Is deze waarde kleiner is dan 1, dan is de gebouwhoogte kleiner dan de straatbreedte en vice versa. In de Y-as staat de jaargemiddelde black carbon concentratie weergegeven in een virtuele straat met een vastgelegde straatbreedte en een variabele gebouwhoogte.



Figuur 9: Black carbon concentratie (gemiddelde van de linkse en rechtse voetpaden) in een virtuele straat waarin alle parameters zijn vastgelegd (verkeer, weer, enz...), met uitzondering van de verhouding gebouwhoogte en straatbreedte.

Het is duidelijk dat de black carbon concentraties het laagst zijn in een open straat (hoogte/breedte = 0). Vervolgens stijgen ze snel, waarna deze stijging langzamer verloopt naarmate de gebouwhoogte toeneemt.

Uit deze analyse kunnen we het volgende besluiten:

- De black carbon concentraties stijgen proportioneel in functie van de verkeersintensiteit. Voor open straten is deze stijging in de grootteorde van $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per toename van 1000 voertuigen/uur. In straten afgeboord met een hoge bebouwing (canyon streets) bedraagt de concentratiestijging $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor eenzelfde verkeerstoename.

- De black carbon concentraties zijn gemiddeld 2 tot 3 keer hoger in een canyon street dan in een open straat.
- Indien de wind dwars blaast t.o.v. het doorgaand verkeer (straatas) in een canyon street, dan hebben de polluenten de neiging te accumuleren op het voetpad in de windopwaartse richting. Gemiddeld zijn de black carbon concentraties 20 tot 40% hoger op het voetpad in de windopwaartse richting t.o.v. de windneerwaartse richting.

Conclusie van de ExpAIR meetcampagne

Uit de verzamelde gegevens komt naar voor dat men het **sterkst is blootgesteld aan black carbon in het verkeer. Gemiddeld ligt deze blootstelling 3 maal hoger dan de achtergrondvervuiling of het gemiddeld pollutie niveau in de binnenlucht.**

Rekening houdend met de verschillende transportmodi, blijkt dat:

- De **automobilisten het meest blootgesteld zijn aan black carbon**, met blootstellingsniveaus die ongeveer 5 maal hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- De gebruikers van de bus, tram en metro, evenals de fietsers, blootgesteld zijn aan black carbon concentraties die 3 tot 4 keer hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- De **voetgangers gevoelig minder zijn blootgesteld**, met waarden die 2 tot 3 maal hoger liggen dan deze in de binnenlucht;
- **De treinreizigers het minst zijn blootgesteld**, dankzij de treinbedding die doorgaans ver verwijderd ligt van de verkeersassen.

Op basis van de black carbon cartografie, opgesteld voor het hele Brusselse gewest, kan men constateren dat **voor 73% van het verkeersnet de gemiddelde concentraties in de spitsuren 2 tot 5 keer hoger liggen dan de achtergrondluchtvervuiling of deze in de binnenlucht. Voor 4% van de wegen, wordt een waarde gemeten die 5 keer hoger ligt dan de achtergrondluchtvervuiling of deze in de binnenlucht.**

Ook dient opgemerkt dat de black carbon concentraties gemiddeld 2 tot 3 keer hoger liggen in straten die langs beide zijden afgeboord zijn met hoge gebouwen (canyon streets) dan in open straten.

In canyon streets kan de keuze van het voetpad eveneens van belang zijn indien de wind dwars blaast op de rijrichting van het verkeer (straatas). Gemiddeld liggen de black carbon concentraties 20% tot 40 % hoger op het voetpad in de opwaartse windrichting dan deze in de neerwaartse windrichting.

De concentratiekaarten die in het kader van dit project werden ontwikkeld, worden ter beschikking gesteld op de website van Leefmilieu Brussel. Ze kunnen geconsulteerd worden door het grote publiek. In de toekomst wordt eveneens een routeplanner ter beschikking gesteld om op die manier alternatieve routes uit te stippelen en zo de persoonlijke blootstelling aan black carbon te verminderen.