



Évaluer la perméabilité filtrée : le principe méconnu et bien-aimé des villes cyclables

Philippe Apparicio, Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke
Maxime Savaria, Mathieu Carrier

25 avril 2024, Orford
2e colloque géomatique - GéoMont





Bénéfices et risques de la pratique du vélo en ville

RISQUES ASSOCIÉS À L'UTILISATION DU VÉLO EN VILLE

BÉNÉFICES DE L'UTILISATION DU VÉLO EN VILLE



Maxime Savaria

Maîtrise en études urbaines, Institut national de la recherche scientifique

Analyse du niveau de perméabilité filtrée dans plusieurs villes à travers le monde.

Directeur : Philippe Apparicio. Codirecteur : Mathieu Carrier.



Assessing filtered permeability around the globe: The unknown beloved principle of cycling cities



Maxime Savaria, Philippe Apparicio, Mathieu Carrier*

ABSTRACT.— Cycling cities have one point in common: they are characterized by high levels of “filtered permeability” (FP), a principle that still isn’t widely known or studied. In these cities, a cyclist’s freedom of movement is considerably greater than a motorist’s. The objective of this article is to highlight and operationalize this principle for the first time. For this purpose, a FP index has been developed and calculated in 60 cities throughout the world. The results demonstrate that the freedom of movement of a cyclist in a European city is on average 44% greater than a motorist’s, which is a FP level about three times greater than what was measured in the other geographic areas studied (South and Central America, North America, Asia and Oceania). As other well-known factors (e.g. safety, accessibility, traffic calming measures), FP could be an effective dimension to create a conducive urban environment for cycling and thus, promote more sustainable mobility behaviours.



Liberté de mouvement à vélo *versus* en automobile : un classement des villes françaises selon la perméabilité filtrée

Maxime SAVARIA

Institut national de
recherche scientifique
385 rue Sherbrooke Est
Montréal, Québec, H2X 1E3
Canada
maxime.savaria@inrs.ca

Philippe APPARICIO

Université de Sherbrooke
Département de géomatique appliquée
2500 bd de l’Université
Sherbrooke, Québec, J1K 2R1
Canada
philippe.apparicio@usherbrooke.ca

Mathieu CARRIER

Institut national de
recherche scientifique
385 rue Sherbrooke Est
Montréal, Québec, H2X 1E3
Canada
mathieu.carrier@inrs.ca

RÉSUMÉ.— La perméabilité filtrée (PF), qui renvoie à la capacité d’un réseau à permettre le mouvement, tend à s’imposer comme un élément clé permettant de comprendre le succès des villes cyclables, avec le postulat que la liberté de mouvement devrait être plus grande à vélo qu’en automobile. L’objectif de cet article est d’évaluer le niveau de perméabilité filtrée dans les 42 communes les plus peuplées de France. Pour ce faire, un indice de PF, fondé sur trois dimensions de la perméabilité d’un réseau (configuration, connectivité et densité), a été calculé à partir des données d’*OpenStreetMap*. Les résultats indiquent une forte variabilité d’une ville à l’autre, plaçant Strasbourg en tête de classement. De plus, ils révèlent une corrélation positive entre le niveau de PF et la part modale du vélo, renforçant ainsi la pertinence d’intégrer l’approche de PF dans les pratiques de planification.



1

Bref retour sur les notions de justice en transport et de cyclabilité





Justice en transport appliquée au vélo

1

(SUR)EXPOSITION AUX ÉLÉMENTS NÉGATIFS DU TRANSPORT

Risques d'accident pour les cyclistes

Stress

Bruit, inhalation de polluants atmosphériques

Odeur (gaz d'échappement)

Impacts de changements climatiques

2

ESPACE ET ACCESSIBILITÉ

Espace occupé démesurée de l'automobile comparativement aux autres modes

Opportunités différenciées d'accès aux destinations selon les modes (voiture versus vélo)

Qualité et quantités des infrastructures routières, cyclables, piétonnes

3

TEMPS

Temps de parcours selon différents modes

Aspect direct des trajets

Signalisation et priorités pour le trafic automobile versus les autres modes



Notion de cyclabilité : Capacité d'un environnement à favoriser et à sécuriser les déplacements à vélo.

Application de la cyclabilité : tronçon de rue, quartier, ville!

Principales dimensions de la cyclabilité

1

Infrastructures cyclables

Disponibilité (densité du réseau), qualité, types d'aménagements, stationnements pour vélos, système de vélos en libre-service, etc.

2

Accessibilité aux opportunités urbaines

Configuration et connectivité du réseau
Occupations du sol

3

Sécurité et confort

Séparation des cyclistes du trafic
Accidents et conflits

4

Environnement cyclable

Exposition aux polluants atmosphériques et cyclables
« Agréabilité » des trajets (paysage, végétation, eau, etc.)
Topographie!



Objectifs des indicateurs de cyclabilité : évaluer, de manière objective ou subjective, si un lieu, un trajet, une zone ou une ville est favorable ou non à la pratique du vélo.

Comment ? Trois principales méthodes (Castoñon, Ribeiro., 2021 ; Kellstedt et al., 2021; Schmid-Querg et al., 2021)

1. Questionnaire, entretiens ou groupes de discussion visant à explorer les perceptions des cyclistes.
2. Observation directe d'une intersection ou d'un tronçon spécifique.
3. Analyses spatiales : **Géomatique !**

Multitude d'indicateurs de cyclabilité... *Active Commuting Route Environment Scale (ACRES), **Bike Score** ©, Bikeability and Walkability Environmental Score, The Bikeability and Walkability Table (BiWET), Facilitated Voluntary Geographic Information (f-VGI), Madrid Systematic Pedestrian and Cycling Environment Scan (M-SPACES), Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) Global, Mapping risk tool et Safety and Accessibility Index...*



indicateurs de cyclabilité = outils efficaces pour évaluer la qualité de l'environnement cyclable à différentes échelles.



Ils ne permettent pas de déterminer si les caractéristiques des réseaux cyclable et routier favorisent davantage l'utilisation du vélo ou celle de l'automobile. Or, ces caractéristiques sont l'un des facteurs déterminants dans le choix modal de l'automobile ou du vélo (Winters et al., 2010; Courel, Deguire, 2020).



2

Définition et mesures de la perméabilité filtrée





Raisons de succès du vélo dans les villes d'Europe du Nord?

**FORTE
CYCLABILITÉ**

**Perméabilité
filtrée?**

Capacité d'un réseau à permettre le mouvement

Le réseau accessible aux cyclistes doit être plus perméable, c'est-à-dire plus étendu (**configuration**), plus dense (**densité**) et mieux connecté (**connectivité**) que le réseau routier

**Forte culture
identitaire du
vélo**

**Courtes
distances
à parcourir**

2 Définition et mesures de la perméabilité filtrée



Définition : Le réseau accessible aux cyclistes doit être plus perméable, c'est-à-dire plus étendu (**configuration**), plus dense (**densité**) et mieux connecté (**connectivité**) que le réseau routier.

Résultat : Déplacement à vélo plus direct, ce qui aurait pour effet de « filtrer » l'automobile.

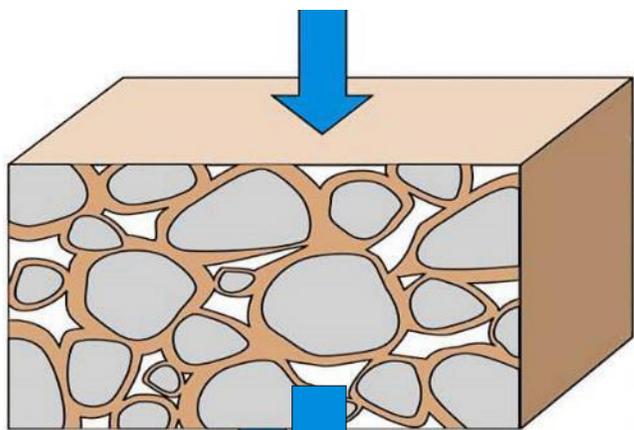
Intérêts : Rééquilibrer l'attractivité des modes de transport. Favoriser une « désautomobilisation » des villes.

Application : tronçon de rue, quartier, ville!

Perméabilité « non filtrée » très présent en Amérique du Nord

Réseau sensiblement le même pour tous, soit celui l'automobile
Ainsi, l'automobile est habituellement l'option la plus rapide
et est alors plus souvent privilégiée

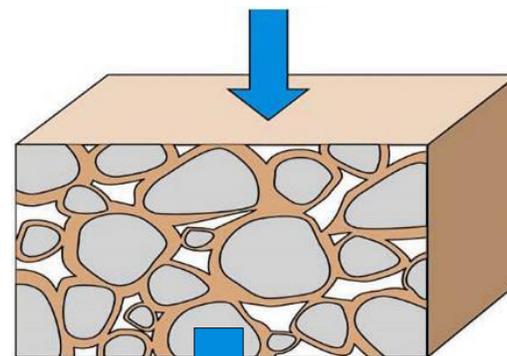
Vél'eau et aut'eau



Même perméabilité



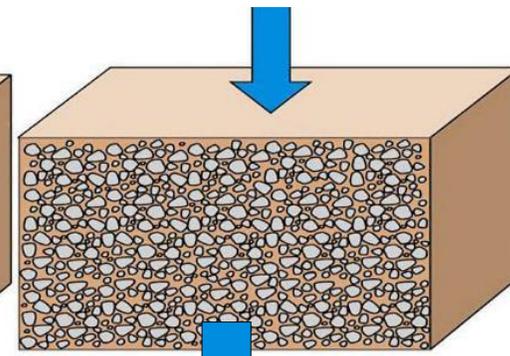
Vél'eau



Forte perméabilité



Aut'eau



Faible perméabilité





Cinq mesures favorisant la perméabilité filtrée (filtres modaux)

OBJECTIF : faciliter le plus possible le mouvement des cyclistes et réguler celui des automobilistes

1

Voie dédiées aux cyclistes
(piste en site propre, passerelle, tunnel)

Réduire la distance de parcours des cyclistes versus automobilistes





Cinq mesures favorisant la perméabilité filtrée (filtres modaux)

OBJECTIF : faciliter le plus possible le mouvement des cyclistes et réguler celui des automobilistes

1

Voies dédiées aux cyclistes
(piste en site propre, passerelle, tunnel)

Réduire la distance de parcours des cyclistes
versus automobilistes

2

Obstacles physiques
(terre-plein, poteaux, bloc de béton, etc.)

Effet de cul-de-sac seulement pour les véhicules motorisés



Photo: Maxime Savaria 2021. Rue Saint-Joseph, Montréal.



Source : Melia (2015, figure 7.3). Ville de Malmö (Suède)



Cinq mesures favorisant la perméabilité filtrée (filtres modaux)

OBJECTIF : faciliter le plus possible le mouvement des cyclistes et réguler celui des automobilistes

1

Voies dédiées aux cyclistes
(piste en site propre, passerelle, tunnel)

Réduire la distance de parcours des cyclistes
versus automobilistes

2

Obstacles physiques
(terre-plein, poteaux, bloc de béton, etc.)

Effet de cul-de-sac seulement pour les véhicules motorisés

3

Infrastructures cyclables en sens unique
Cyclistes circulent dans les deux sens contrairement
aux automobilistes.



Source : Google Maps, Street View.



Cinq mesures favorisant la perméabilité filtrée (filtres modaux)

OBJECTIF : faciliter le plus possible le mouvement des cyclistes et réguler celui des automobilistes

1

Voies dédiées aux cyclistes
(piste en site propre, passerelle, tunnel)

Réduire la distance de parcours des cyclistes
versus automobilistes

2

Obstacles physiques
(terre-plein, poteaux, bloc de béton, etc.)

Effet de cul-de-sac seulement pour les véhicules motorisés

3

Infrastructures cyclables en sens unique
Cyclistes circulent dans les deux sens contrairement
aux automobilistes.

4

Signalisation
Restreindre l'accès aux autos, mais pas aux vélos



Source : Google Maps, Street View.



Cinq mesures favorisant la perméabilité filtrée (filtres modaux)

OBJECTIF : faciliter le plus possible le mouvement des cyclistes et réguler celui des automobilistes

1 Voies dédiées aux cyclistes (piste en site propre, passerelle, tunnel)

Réduire la distance de parcours des cyclistes versus automobilistes



2 Obstacles physiques (terre-plein, poteaux, bloc de béton, etc.)

Effet de cul-de-sac seulement pour les véhicules motorisés

3 Infrastructures cyclables en sens unique Cyclistes circulent dans les deux sens contrairement aux automobilistes.

4 Signalisation

Restreindre l'accès aux autos, mais pas aux vélos

5 Mesures d'apaisement de la circulation Dos d'âne, priorité aux intersections, marquage au sol, gestion des limites de vitesse etc.)

Augmenter le confort et la sécurité des cyclistes





3

Construction de l'indice de perméabilité filtrée





Trois dimensions de la perméabilité du réseau

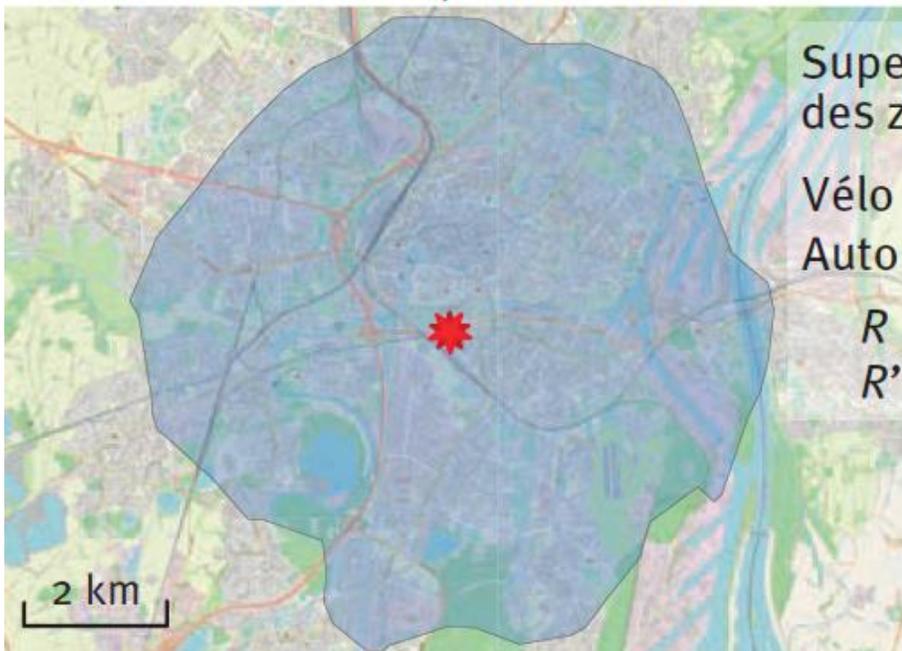
- 1 Configuration du réseau**
Forme du réseau, soit à la manière dont les rues sont disposées dans un espace donné
- 3 Connectivité du réseau**
Diversité des possibilités relationnelles entre les différents nœuds et segments d'un réseau
- 3 Configuration du réseau**
Quantité de rues présentes dans une zone donnée.



Trois dimensions de la perméabilité du réseau

Dimension de la configuration du réseau

a. Zone isodistance pour le vélo



Superficie
des zones (km²)

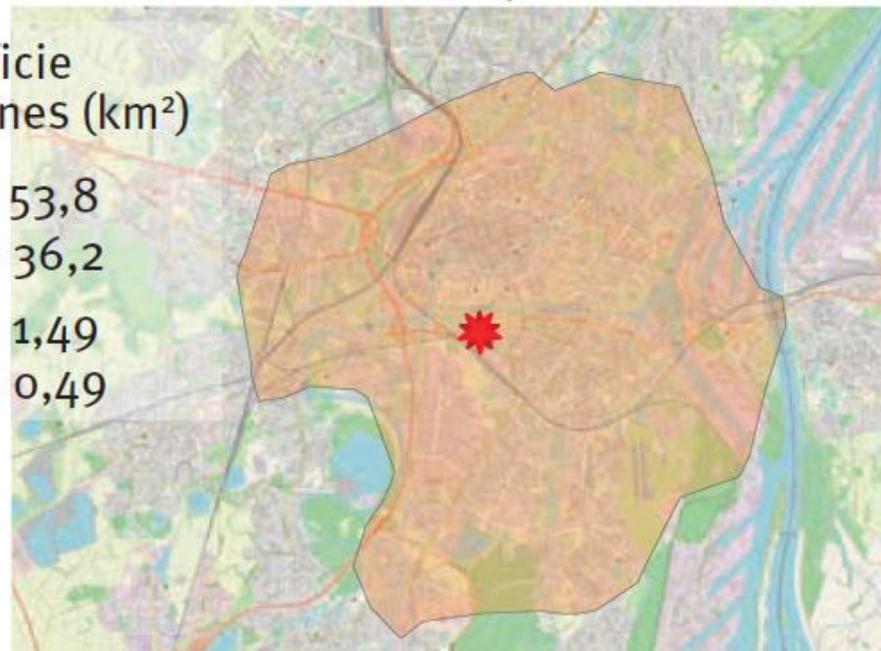
Vélo = 53,8

Auto = 36,2

$R = 1,49$

$R' = 0,49$

b. Zone isodistance pour l'automobile



Indicateur retenu : zone d'isodistance (ici 5 km)

Plus l'aire atteinte est grande, plus le réseau offre une grande liberté de mouvement.

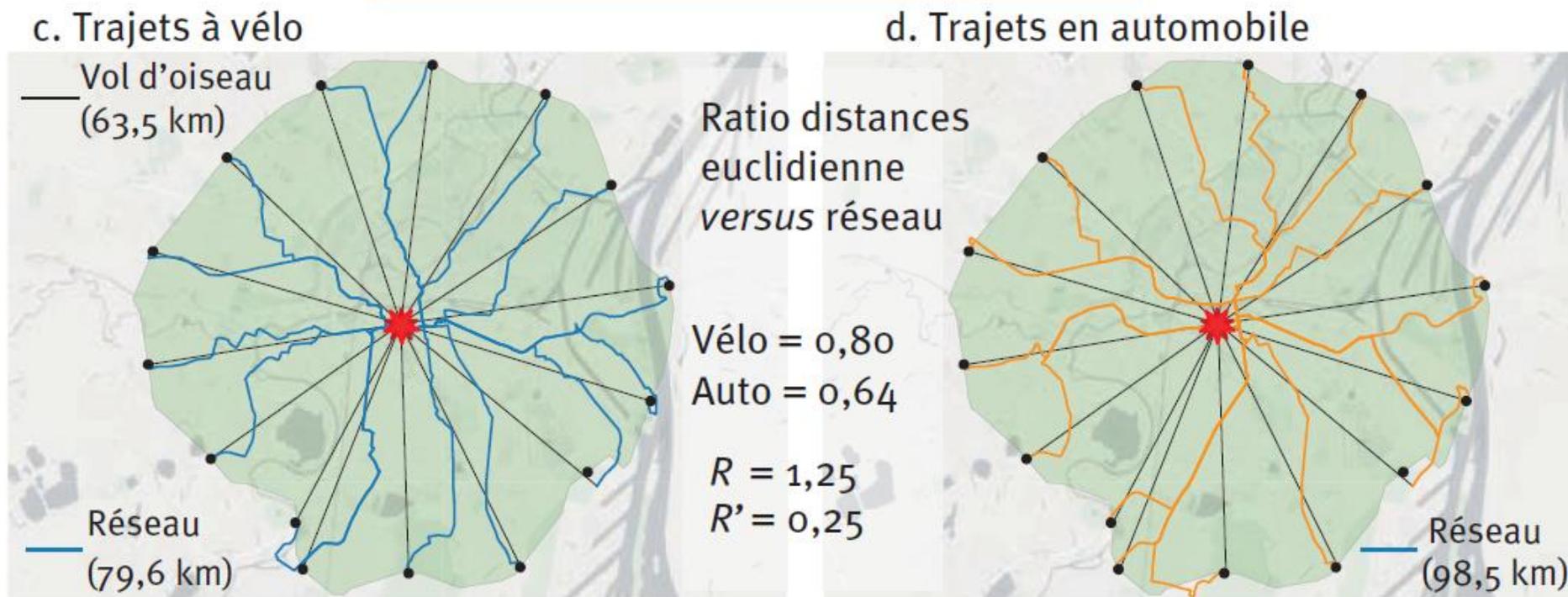
$$R = 53,8/36,2 = 1,49$$

Le réseau accessible en vélo est mieux configuré que celui pour l'automobile, dans un rapport de 49%.



Trois dimensions de la perméabilité du réseau

Dimension de la connectivité du réseau



Indicateur retenu : *pedestrian route directness* (PRD)

Ratio entre la distance réseau et la distance euclidienne.

Il permet d'évaluer la capacité d'un réseau à fournir des trajets directs ou non.

Il varie de 0 (trajet sinueux) à 1 (trajet le plus direct possible).

$R = 0,80/0,64 = 1,25$, signalant que le réseau accessible en vélo est 25% mieux connecté que celui en l'automobile



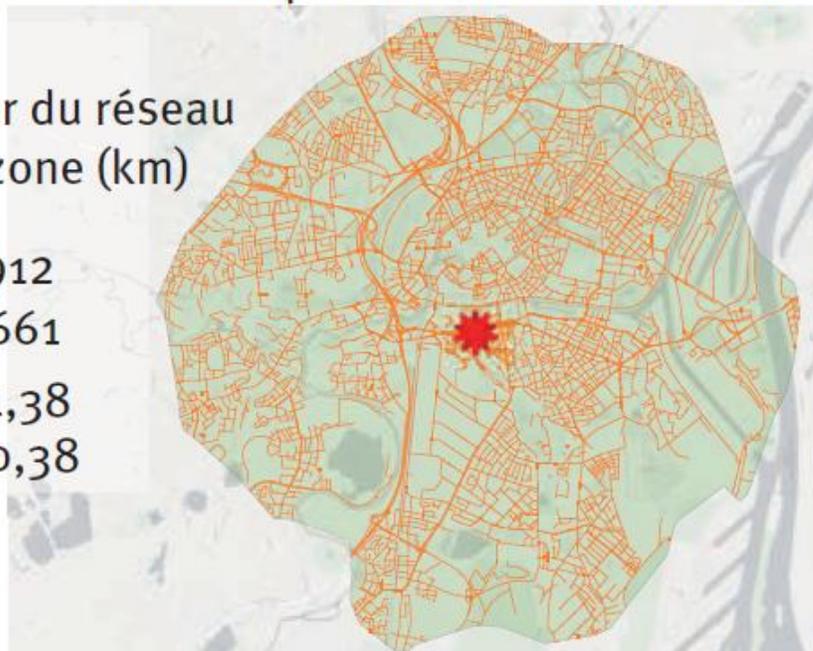
Trois dimensions de la perméabilité du réseau

Dimension de la densité du réseau

e. Réseau pour le vélo dans la zone



f. Réseau pour l'auto. dans la zone



Longueur du réseau
dans la zone (km)

Vélo = 912

Auto = 661

$R = 1,38$

$R' = 0,38$

Indicateur retenu : la longueur totale du réseau à l'intérieur de la zone d'isodistance

Plus sa valeur est élevée, plus le réseau est dense.

$R = 912 \text{ km} / 661 \text{ km} = 1,38$, indiquant que le réseau accessible en vélo est 38 % plus dense que celui pour l'automobile.

4 Perméabilité filtrée

Indicateur final : sommation des R'

Indice de perméabilité filtrée = $(0,49+0,25+0,38)/3 = 0,37$

$$R = \frac{\text{Indicateur vélo}}{\text{Indicateur auto}} \text{ et } R' = \begin{cases} R - 1, & \text{si } R \geq 1 \\ -\frac{1}{R} + 1, & \text{autrement} \end{cases}$$

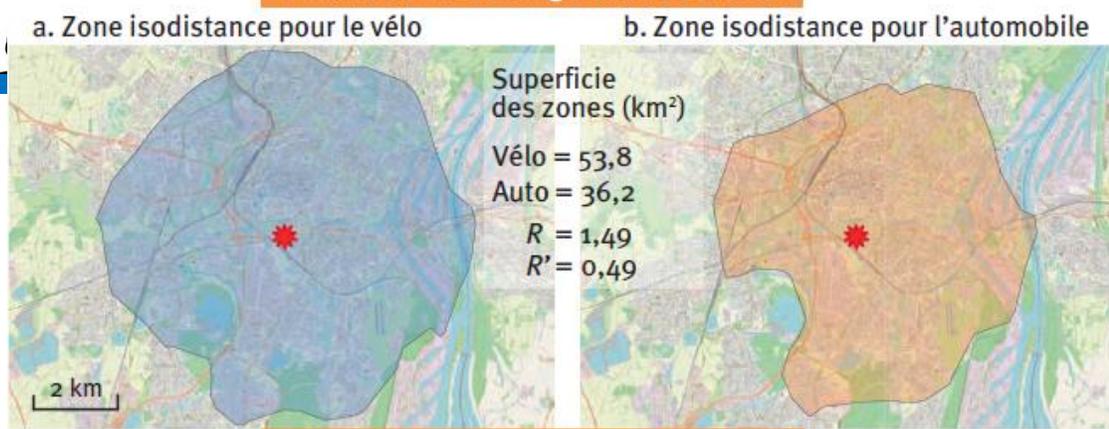
$$FP_i = \frac{1}{3} (R'_{\text{configuration}} + R'_{\text{connectivité}} + R'_{\text{densité}})$$

$FP_i < 0$, alors le réseau est plus perméable pour l'automobile.

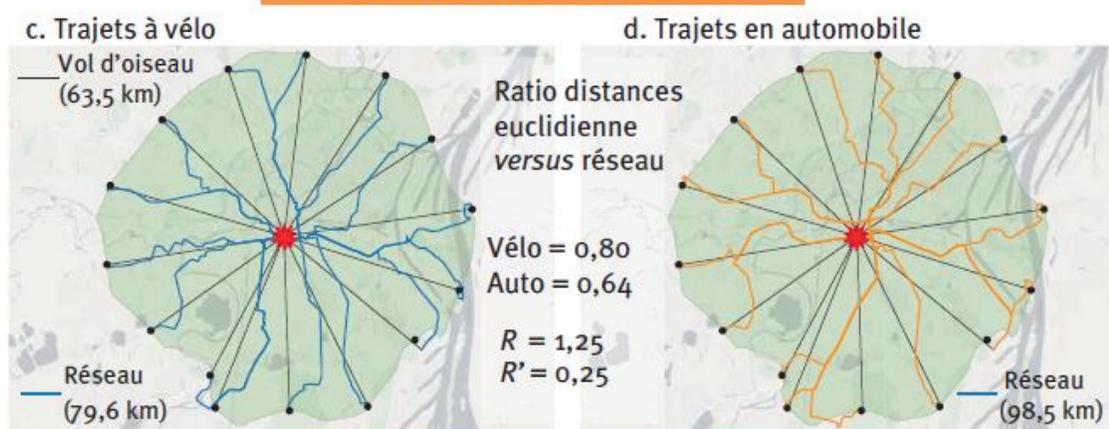
$FP_i > 0$, alors le réseau est plus perméable pour le vélo.

Dans l'exemple, $FP_i = 0,37$, ce qui implique que le réseau accessible en vélo est 37 % plus perméable que celui pour l'automobile.

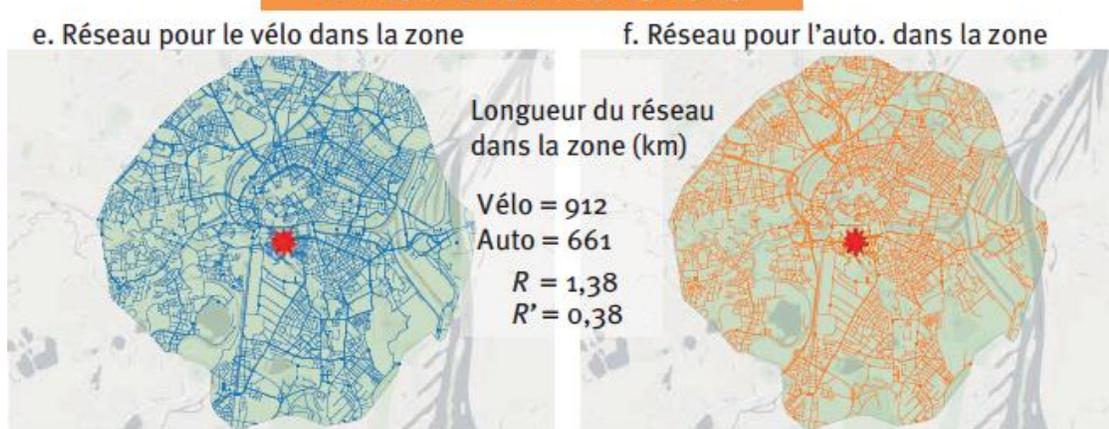
Dimension de la configuration du réseau



Dimension de la connectivité du réseau



Dimension de la densité du réseau



Indice de perméabilité filtrée = $(0,49+0,25+0,38)/3 = 0,37$



4

Exemples de deux études comparatives



4 Perméabilité filtrée



SAVARIA Maxime, Philippe APPARICIO et Mathieu CARRIER (2022). Assessing filtered permeability: the unknown beloved principle of cycling cities. *Transportation Research Part D*.



Indice de perméabilité filtrée^a

- 0,33 à 0,20
- 0,20 à 0,23
- 0,23 à 0,27
- 0,27 à 0,32
- 0,32 à 1,49

● Centre-ville

0 2 km

- Exclusivement pour l'automobile
- Route sans infrastructure cyclable
- Piste cyclable séparée (sur rue ou hors rue)
- Voie partagée ou bande cyclable augmentant le niveau de PF^b
- Voie partagée ou bande cyclable n'augmentant pas le niveau de PF^b
- Piste multifonctionnelle
- Chemin d'accès

^aClassification selon les quintiles.
^bPerméabilité filtrée.

Source : fonds de carte d'OpenStreetMap.

4 Perméabilité filtrée

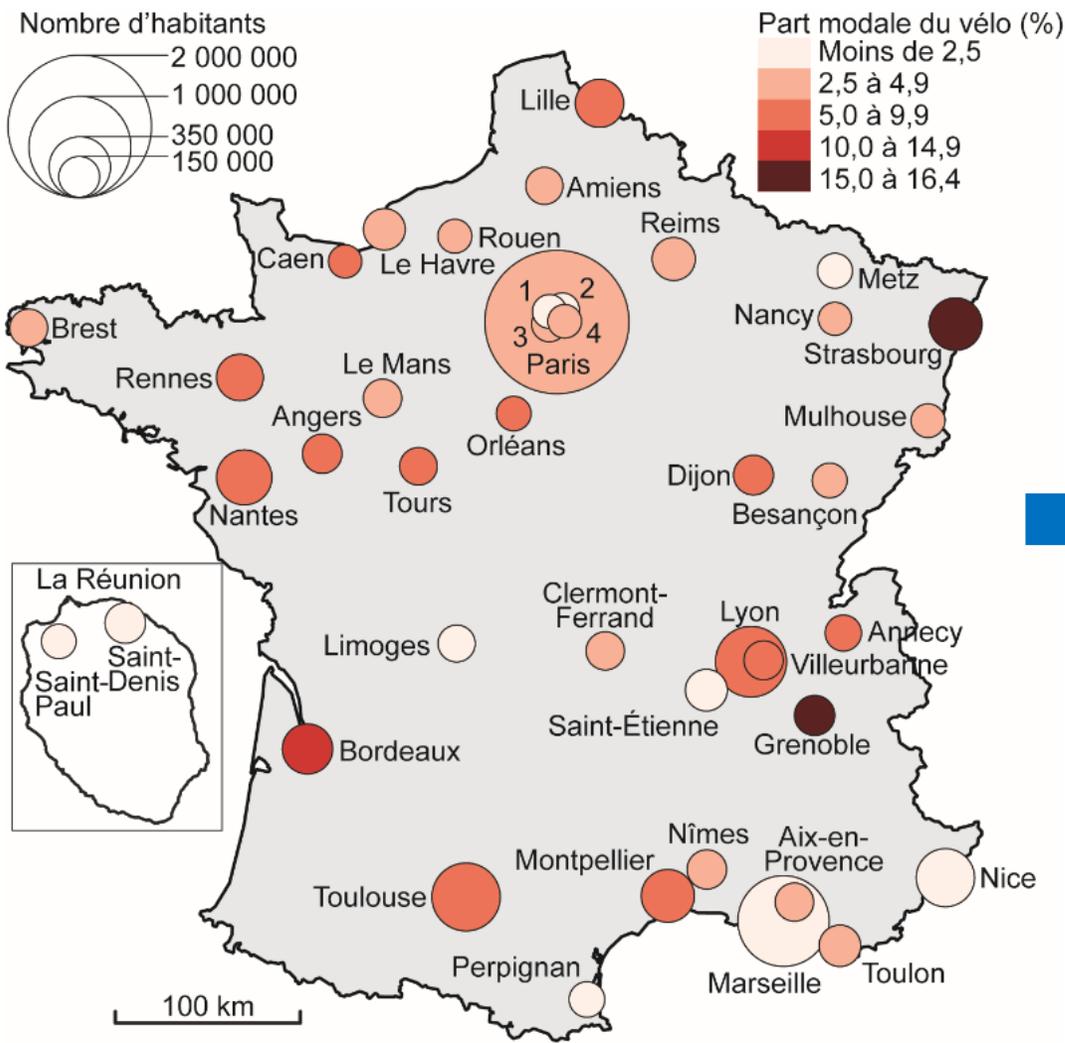
SAVARIA Maxime, Philippe APPARICIO et Mathieu CARRIER (2022). Assessing filtered permeability: the unknown beloved principle of cycling cities. *Transportation Research Part D*.

Rang	Ville	PF	Rank	Ville	PF	Rank	Ville	PF
1	Helsinki	1,01 (0,58)	21	Bordeaux	0,28 (0,12)	41	Kyoto	0,14 (0,66)
2	Oslo	0,71 (1,53)	22	Barcelone	0,27 (0,75)	42	Portland	0,14 (0,18)
3	Freiburg	0,59 (0,61)	23	Paris	0,26 (0,10)	43	Toronto	0,13 (0,09)
4	Brème	0,51 (0,34)	24	Taipei	0,26 (0,49)	44	Shanghai	0,13 (0,32)
5	Houten	0,51 (0,34)	25	Ottawa	0,25 (0,16)	45	Jérusalem	0,13 (0,46)
6	Anvers	0,50 (0,33)	26	Melbourne	0,23 (0,24)	46	Denver	0,12 (0,12)
7	Malmö	0,48 (0,22)	27	Rio de Janeiro	0,21 (0,34)	47	Lima	0,12 (0,35)
8	Groningen	0,45 (0,28)	28	Edmonton	0,21 (0,25)	48	Sydney	0,12 (0,24)
9	Münster	0,43 (0,27)	29	Brisbane	0,20 (0,32)	49	Boston	0,11 (0,11)
10	Utrecht	0,42 (0,31)	30	Mexico	0,19 (0,33)	50	Sao Paulo	0,11 (0,26)
11	Ljubljana	0,39 (0,30)	31	Séoul	0,17 (0,22)	51	Seattle	0,11 (0,14)
12	Strasbourg	0,37 (0,22)	32	Tokyo	0,17 (0,42)	52	Sacramento	0,11 (0,09)
13	Amsterdam	0,36 (0,40)	33	Santiago	0,16 (0,33)	53	Auckland	0,11 (0,25)
14	Vienne	0,36 (0,56)	34	Buenos Aires	0,16 (0,11)	54	Vancouver	0,10 (0,06)
15	Copenhague	0,34 (0,30)	35	Hong Kong	0,16 (0,63)	55	Los Angeles	0,10 (0,15)
16	Maastricht	0,33 (0,46)	36	Christchurch	0,15 (0,50)	56	Phoenix	0,08 (0,32)
17	Berlin	0,32 (0,36)	37	Québec	0,15 (0,37)	57	Érevan	0,07 (0,23)
18	Bogotá	0,31 (0,31)	38	San Francisco	0,14 (0,08)	58	Quito	0,07 (0,56)
19	Calgary	0,31 (0,25)	39	Montréal	0,14 (0,16)	59	Manilla	0,06 (0,20)
20	Hambourg	0,29 (0,38)	40	Pékin	0,14 (0,37)	60	La Havane	0,02 (0,44)

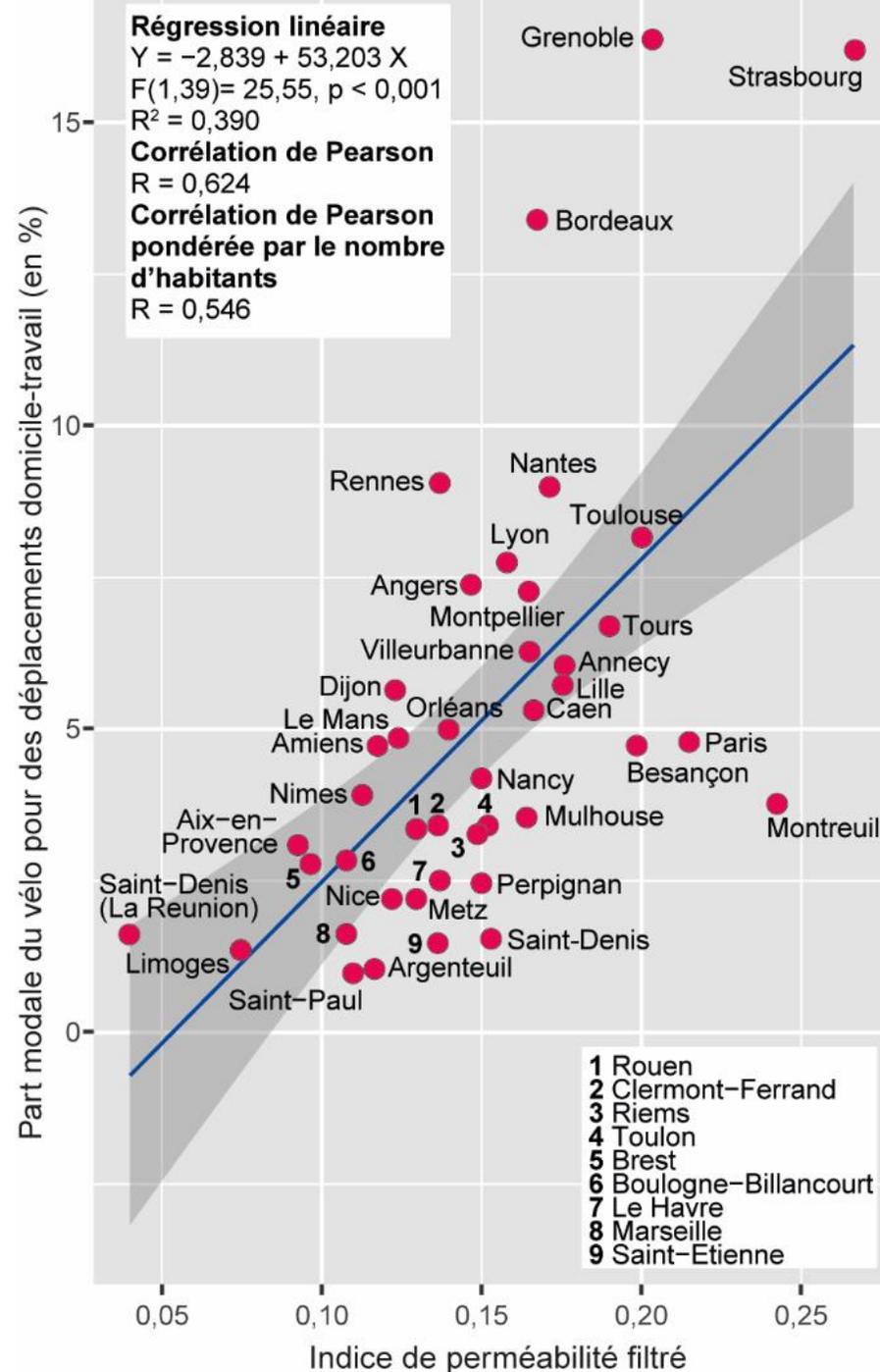
Villes européennes. Villes nord-américaines. Villes Asiatiques. Ville d'Amérique Centrale et du Sud. Villes d'Océanie.

4 Perméabilité filtrée

SAVARIA Maxime, Philippe APPARICIO et Mathieu CARRIER (**sous presse**). Évaluation de la perméabilité filtrée pour le vélo : application aux villes françaises. *L'Espace Géographique*.



1 : Argenteuil; 2 : Saint-Denis; 3 : Boulogne-Billancourt; 4 : Montreuil.
Source : INSEE, 2017.





5

Conclusion





Intérêts de l'indicateur

- Facile... à mettre en œuvre en géomatique!
 - Avec les données OpenStreetMap dans R
 - Avec les données sur les réseaux cyclable et routier des villes...

Intérêts en termes de planification des transports

- Repérer les zones à prioriser
- Adaptable à de multiples échelles : rue, îlots, quartier, zone de planification (urbanisme)
Peut être intégrée par les différentes parties prenantes de la ville (**urbanistes, responsables de la planification, instances politiques**)
- Dimension de l'indicateur facile à comprendre...

Enjeux entour la perméabilité

- Perméabilité filtrée = approche efficace pour encourager la mobilité durable et la désautomobilisation.
- **Mais**, acceptabilité sociale de la perméabilité filtrée
De manière générale, toute action visant à restreindre l'utilisation des véhicules motorisés privés fait habituellement face à une résistance en raison d'un attachement à la conduite automobile (Tertoolen et al., 1998)

Remerciements



Conseil de recherches
en sciences humaines
du Canada

Social Sciences and
Humanities Research
Council of Canada

Canada



Chaires
de recherche
du Canada

Canada
Research
Chairs

Canada

