



**HAL**  
open science

# Prise en compte des problématiques liées à la qualité de l'air extérieur dans les processus de conception urbaine : quels indicateurs de forme urbaine et comment les intégrer dans le processus opérationnel ?

Deniz Özsoy

## ► To cite this version:

Deniz Özsoy. Prise en compte des problématiques liées à la qualité de l'air extérieur dans les processus de conception urbaine : quels indicateurs de forme urbaine et comment les intégrer dans le processus opérationnel?. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01502897

**HAL Id: dumas-01502897**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01502897>**

Submitted on 6 Apr 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

École Centrale de Nantes  
MINES Nantes  
ENSA Nantes  
2017

# **PRISE EN COMPTE DES PROBLÉMATIQUES LIÉES À LA QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR DANS LES PROCESSUS DE CONCEPTION URBAINE**

**Quels indicateurs de forme urbaine et comment les intégrer dans le processus  
opérationnel ?**



Master recherche en Sciences et Techniques des Environnements Urbains (STEU)  
Mémoire de Recherche

Deniz Özsoy

Maître de stage : Jean-Marie Cariolet  
Directeur d'études : Pascale Joanne

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



**MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES DES ENVIRONNEMENTS URBAINS**

**SPÉCIALITÉ AMBIANCES ET FORMES URBAINES**

**Année 2015/2016**

**Thèse de Master STEU**

**Diplôme cohabilité par  
l'École Centrale de Nantes,  
l'École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes  
l'École Supérieure d'Architecture de Nantes,**

Présentée et soutenue par :

**DENİZ ÖZSOY**

le 27 Janvier 2017

à l'École Supérieure d'Architecture de Nantes

**PRISE EN COMPTE DES PROBLÉMATIQUES LIÉES À LA QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR  
DANS LES PROCESSUS DE CONCEPTION URBAINE**

**QUELS INDICATEURS DE FORME URBAINE ET COMMENT LES INTÉGRER DANS LE PROCESSUS OPÉRATIONNEL ?**

**JURY**

Président : Isabelle Calmet ..... Fonction : Enseignant-chercheur - ECN  
Examineurs : Pascale Joanne ..... Fonction : Maître-assistant-ENSANantes  
Ignacio Requena-Ruiz ..... Fonction : Maître-assistant-ENSANantes  
Jean-Marie Cariolet ..... Fonction : Enseignant-chercheur - EIVP

---

Directeur de mémoire : Pascal Joanne

Co-directeur / Maître de stage : Jean-Marie Cariolet

Laboratoire/Institution : École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP)

## Résumé en français

La problématique centrale de ce mémoire est la suivante: «Comment la question de la qualité de l'air extérieur peut-elle être prise en compte lors de la conception d'un projet urbain? ».

Tout d'abord, nous questionnons comment les concepteurs peuvent appréhender la problématique de la qualité de l'air. Notre but est de mettre en évidence l'interaction entre la forme urbaine et la qualité de l'air extérieur à travers les indicateurs afin de faciliter l'interprétation et la maîtrise de cette interaction par les différents acteurs du projet urbain. Pour y parvenir, une recherche bibliographique a été menée pour recenser les indicateurs urbains existant sur ce sujet.

La deuxième question concerne l'intégration de ces indicateurs sur la qualité de l'air extérieur dans le processus opérationnel d'un projet urbain. Il s'agit ici, dans le contexte français, de questionner les pratiques actuelles, de déterminer les étapes clés du processus opérationnel pour intégrer une stratégie face à la pollution de l'air. Notre méthode est plutôt inductif basé sur les entretiens et les observations. Nous avons un recours à une grille d'analyse. Cela nous permet de visualiser les résultats de la première partie en montrant les liens entre les indicateurs au travers des paramètres et de mettre en lien ces indicateurs avec le processus opérationnel type.

**Mots-clés** : urbanisme, qualité de l'air extérieur, indicateurs urbains, processus opérationnel, pollution de l'air, morphologie urbaine

## Abstract

The central problem of this thesis is: «How can outdoor air quality be taken into account when designing an urban project?»

First, we question how designers can comprehend the problem of air quality. Our aim is to highlight the interaction between the urban form and the outdoor air quality through the indicators to facilitate the interpretation and control of this interaction by the different actors of the urban project. To achieve this, a bibliographic search was carried out to make an inventory of urban indicators existing on this subject.

The second question concerns the integration of these elements of intervention on the outdoor air quality in the operational process of an urban project. Our aim is, in the French context, to question current practices, determine the key elements to integrate indicators related to air pollution in the future practices. Our process is rather inductive, based on interviews and observations. We created a grid of analysis. This allows us to visualize the interaction between indicators through parameters also the links between these indicators and an operational process model type.

**Keywords**: Urban planning, outdoor air quality, urban indicators, operational processes, air pollution, urban morphology

**Discipline** : Sciences de l'Environnement

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier vivement mon maître de stage, M. Jean-Marie Cariolet, de m'avoir guidé dans mon travail, pour ses précieux conseils et sa grande disponibilité.

Je remercie également mon directeur d'étude M. Pascale Joanne pour son aide précieuse et pour sa disponibilité.

Enfin, j'adresse mes remerciements à mes collègues de EIVP, à Adélaïde et ma famille pour leur aide et leur bonne humeur.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	<b>5</b>
<b>Tableau des figures</b> .....	<b>9</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>11</b>
<b>Avant-propos</b> .....	<b>13</b>
<b>1) Introduction</b> .....	<b>15</b>
La pollution atmosphérique extérieure .....	17
Les Polluants .....	18
Les sources de pollution .....	19
La conception urbaine et la pollution atmosphérique .....	21
Problématique .....	22
Projet urbain .....	22
Organisation de la problématique .....	22
Méthodologie .....	23
<b>2) PARTIE I : Comment appréhender la problématique de la pollution de l'air extérieur à travers des indicateurs morphologiques?</b> .....	<b>25</b>
Introduction .....	25
Pourquoi des indicateurs ? .....	26
Quels indicateurs ? .....	27
Le recensement des indicateurs .....	27
1. La capacité de la forme urbaine à réduire les émissions de polluants .....	28
Marchabilité .....	28
Cyclabilité .....	31
L'accessibilité aux transports publics .....	32
2. La capacité de la forme urbaine à disperser les concentrations des polluants .....	32
La longueur de rugosité et la hauteur de déplacement .....	33
Le facteur de vue du ciel (FVC) .....	35
La porosité .....	36
Le couloir de ventilation .....	37
L'indice de construction de Landsberg .....	38
3. La capacité de la forme urbaine à réduire l'exposition des populations .....	38
La distance à la source .....	39
ExTra Index .....	41
Conclusion de la première partie .....	41

<b>3) PARTIE II : Comment et quand les indicateurs peuvent-ils être pris en compte dans le processus opérationnel ? .....</b>	<b>43</b>
Introduction .....	43
Pourquoi faire une grille d'analyse? .....	44
Grille d'analyses.....	45
Indicateurs et paramètres.....	47
Le processus opérationnel et les acteurs .....	48
Conclusion de la deuxième partie.....	51
<b>4) Conclusion générale.....</b>	<b>53</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>57</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>67</b>
Annexe 1 - Source: AirParif .....	67
Annexe 2 - Source: Duché, 2013 .....	68
Annexe 3 - Source: European Commission.....	69
Annexe 4 - Source: Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.....	71
Annexe 5 - Source: Al Mamun et al. (2011) .....	72
Annexe 6 - Entretien avec Charlotte Tardieu .....	73
Annexe 7 - Entretien (écrit) avec Gérard Thibaut.....	81
Annexe 8 - Entretien avec Laurent Ducourtieux.....	85

## Tableau des figures

1.Figure: Les effets de la pollution de l'air extérieur sur la santé (European Commission, 2015).....	16
2.Figure: Panneaux d'information de la mairie de Paris - photographies prises le 25 juillet 2012 (Duché, 2013) .....	17
3.Figure: Quels sont les principaux polluants de l'air (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, n.d.) .....	19
4.Figure: La variété des sources et poids des transports ( <a href="https://www.airparif.asso.fr/">https://www.airparif.asso.fr/</a> ) .....	20
5.Figure: Les étapes de l'exposition à la perception individuelle de la pollution de l'air - (Duché, 2013).....	21
6.Figure: Prise en compte de la topographie dans le calcul de la marchabilité (Nourian, et al., 2012) .....	30
7.Figure: Quantification de la difficulté de la marchabilité selon la topographie. (Nourian et al., 2012) .....	30
8.Figure: Définition des paramètres utilisés dans le calcul des indicateurs morphométriques. (C. S. B. Grimmond, et al., 1999) .....	34
9.Figure: Angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique (Tsoka, 2011) .....	35
10.Figure: À gauche la définition géométrique, à droite cosinus pondéré (Zhang, et al., 2012).....	36
11.Figure: La décroissance des concentrations de polluants avec l'éloignement horizontal (AirParif, 2012).....	39
12.Figure: Évolution de la qualité de l'air extérieur en NO2 du bord du Boulevard Périphérique à l'intérieur des bâtiments (AirParif, 2008) p.53 .....	40
13.Figure: Grille d'analyse .....	45
14.Figure: À gauche le schéma de « facteur de vue du ciel » et à droite le schéma de « le couloir de ventilation » .....	47
15.Figure: L'extrait de la grille d'analyse - Marchabilité.....	50

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Glossaire

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
Air PACA	Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région
AirParif	Association de Surveillance de la Qualité de l'Air
AMO	Asistant à la maîtrise d'ouvrage
APD	Avant-projet définitif
APS	Avant-projet sommaire
ATMO	Réseau National des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DCE	Dossier de consultation des entreprises
EIVP	École des Ingénieurs de la Ville de Paris
ESQ	Études d'esquisse
EXE	Études d'exécution
FBC	Franck Boutté Consultants
FVC	Facteur de vue du ciel
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
JOAQUIN	Joint Air Quality Initiative
MESH	Morphology, Environment, Sustainability, Human comfort
MOA	Maîtrise d'ouvrage
MOE	Maîtrise d'œuvre
OECD	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OMS	Organisation mondiale de la Santé (WHO en anglais)
OPC	Ordonnancement, la coordination et le pilotage du chantier
PLU	Plan local urbain
Respire	Association Nationale pour l'Amélioration et la Préservation de la Qualité de l'Air
SADEV 94	Société d'aménagement et de développement des villes et du département du Val-de-Marne
SAMOA	Société d'Aménagement de la Métropole Ouest Atlantique
SEM	Société d'économie mixte
SIG	Système d'information géographique
SRU	Loi solidarité et renouvellement urbain
VESTA	Five Epidemiological Studies on Transport and Asthma
ZAC	Zone d'aménagement concerté
Z <sub>0</sub>	Longueur de rugosité
Z <sub>d</sub>	Hauteur de déplacement

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Avant-propos

Ce mémoire de recherche a été rédigé dans le cadre d'un stage réalisé à l'École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP). EIVP est une plateforme transdisciplinaire sur la ville qui est orientée sur les questions environnementales et la recherche opérationnelle. Réaliser mon stage dans un tel milieu de la recherche a été très profitable pour moi.

Pendant mon stage, j'ai eu l'occasion de suivre le projet MESH (Morphology, Environment, Sustainability, Human comfort). Le but du projet MESH (financement ADEME) est de développer un outil d'analyse des formes urbaines pour l'évaluation environnementale en se basant sur des indicateurs environnementaux. Son objectif est double : il doit servir comme outil d'aide à la décision et à la conception.

Le projet est porté par le bureau d'étude Franck Boutté Consultants, regroupe le Lab'Urba (GU et EIVP), la sdev 94 et l'architecte Francesco Cingolani. Dans le cadre de ce projet l'équipe résilience de l'EIVP apporte ses compétences dans le domaine de la qualité de l'air.

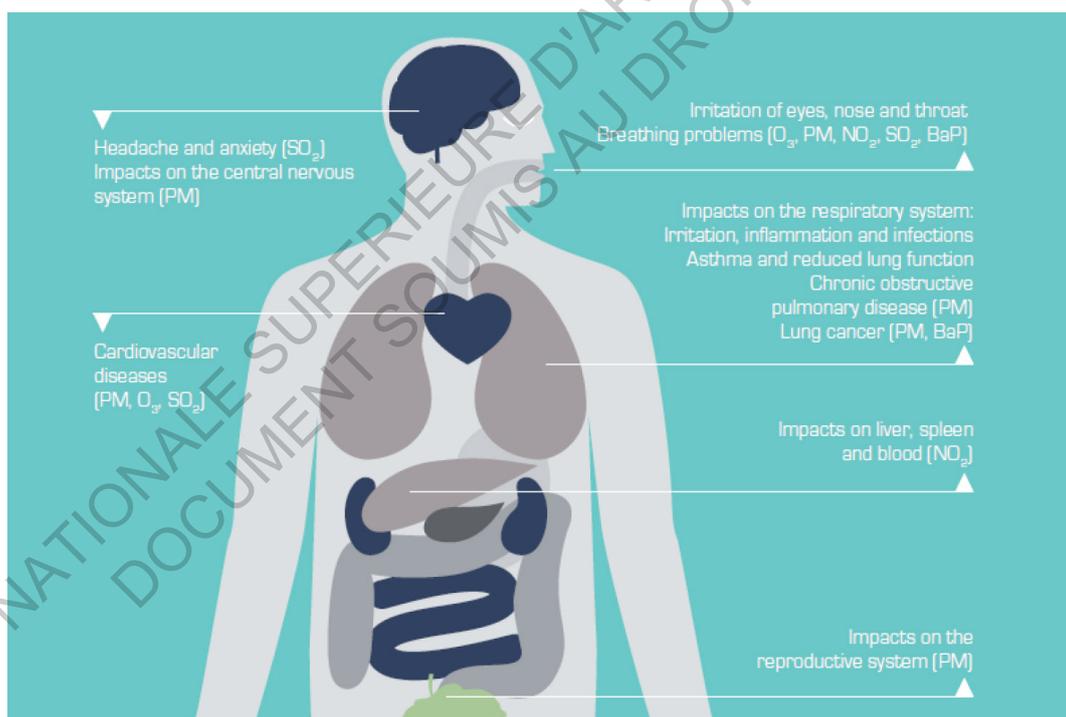
J'ai eu l'occasion d'observer les réunions du projet. Cela m'a permis de repérer les problématiques qui ont surgi lors des concertations des différents acteurs. Cela m'a permis aussi d'être consciente de toutes les préoccupations environnementales, sociales, économiques et de la place de la pollution de l'air extérieur parmi ces préoccupations. J'ai pu garder une vision large sur le processus opérationnel pendant ma recherche focalisée sur la qualité de l'air extérieur.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## 1) Introduction

La pollution de l'air (intérieur et extérieur) a causé la mort prématurée de 7 millions de personnes dans le monde en 2012 selon l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2014a). 4,3 millions de ces décès prématurés sont attribués à la pollution de l'air intérieur et 3,7 millions à la pollution de l'air extérieur(OECD, 2016b) à laquelle notre recherche s'intéresse<sup>1</sup>. Rien qu'en Europe, chaque année, 400 000 morts prématurés sont liées à la pollution de l'air extérieur. La Commission européenne précise qu'elle est aujourd'hui la première cause environnementale de mortalité en Europe(European Commission, n.d.). L'Organisation de coopération et de développements économiques (OECD) précise que, « si nous n'agissons pas, la pollution de l'air extérieur pourrait entraîner 6 à 9 millions de décès prématurés d'ici 2060 et coûter 1 % du PIB mondial »(OECD, 2016a) (OECD, 2016b).

La pollution atmosphérique a une responsabilité avérée principalement dans l'apparition de maladies respiratoires, de maladies cardiovasculaires et de certains cancers(ADEME, 2015a). L'ozone ( $O_3$ ), le dioxyde d'azote ( $NO_2$ ) et notamment les particules fines ( $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ )<sup>2</sup> et ultrafines sont reconnus aujourd'hui comme les polluants les plus nocifs pour la santé(Agence européenne pour l'environnement, n.d.). Actuellement, il existe de nombreuses recommandations et réglementations à l'échelle mondiale, européenne, nationale et régionale pour réduire les émissions et les concentrations, et donc limiter l'exposition des populations à ces polluants<sup>3</sup>.



1 La différence entre les chiffres de WHO et OECD est due aux personnes qui sont affectés à la fois par la pollution de l'air intérieur et par la pollution de l'air extérieur, ils sont comptés dans les deux statistiques.

2 Le Centre International de Recherche sur le Cancer considère la pollution atmosphérique comme l'une des premières causes de décès par cancer. Il a notamment classé les matières particulaires comme cancérigènes pour l'homme de Groupe 1.

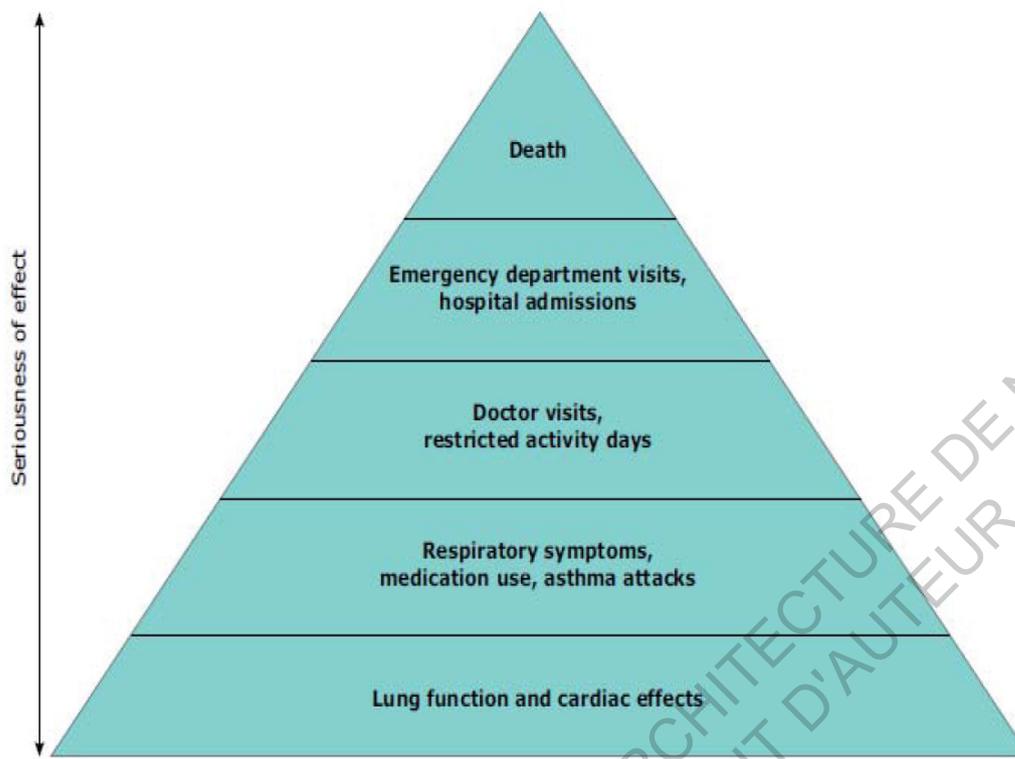
(Centre international de Recherche sur le Cancer, 2013)

3 Nous pouvons donner les exemples suivants :

Au niveau international : Organisation Mondiale de la Santé, « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre » en 1987, révisé en 2005.

Commission européenne, « Directive pour la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe » en 2008.

Au niveau national, les lois LAURE, GRENELLE I et GRENELLE II déterminent des normes et des restrictions en matière de pollution de l'air atmosphérique.



1. Figure: Les effets de la pollution de l'air extérieur sur la santé (European Commission, 2015)

En France, selon l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), les particules fines sont à l'origine de plus de 48 000 morts prématurées chaque année (Pascal et al., 2016). L'agence estime que le coût pour la société de cette pollution de l'air équivaut à 30 milliards d'euros, dont près de 1 milliard directement supportés par le système de soins (ADEME, 2015b). Le pays dépasse actuellement les normes fixées par la Commission européenne pour divers polluants atmosphériques<sup>1</sup> ; il s'expose à une amende de l'ordre de 100 millions d'euros par an tant qu'il ne respecte pas la directive (Respire, 2011).

La pollution de l'air extérieur touche surtout les grandes villes<sup>2</sup>. Malgré leur surface relativement réduite, elles concentrent à la fois une très grande part des émissions des polluants (Gros et al., 2007) et une partie importante de la population. Au vu de l'augmentation rapide de la population urbaine et de la vitesse d'urbanisation, la qualité de l'air devient un défi essentiel et urgent pour ces villes.

En France, la pollution atmosphérique extérieure est devenue une préoccupation majeure des pouvoirs locaux. De nombreuses précautions et restrictions pour lutter contre la pollution de l'air urbain sont en vigueur. Elles concernent presque exclusivement la réduction des émissions. Par exemple, Paris, la ville la plus touchée par la pollution urbaine, est une « Zone à Circulation Restreinte » depuis 2017. Cela permet de distinguer les véhicules en fonction de leur niveau de pollution et d'empêcher la circulation des véhicules les plus polluants. « Le plan de lutte contre la pollution » de la ville comprend également d'autres actions visant à favoriser les moyens de transport propres, les investissements pour ces moyens de transport et les aides financières aux habitants (« Comment Paris lutte contre la pollution de l'air, » n.d.). En outre, lors des pics de pollution relativement fréquents à Paris, le plan de lutte contre la pollution prévoit une circulation alternée et la gratuité des transports en commun.

1 Pour plus de détails voir (European Environment Agency, n.d.)  
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets-2014>

2 Selon les études de Pascal et al. (2016), plus de la moitié des années de vie perdues à cause de la pollution atmosphérique au niveau national est concentrée dans les villes de plus de 100 000 habitants.



2. Figure: Panneaux d'information de la mairie de Paris – photographies prises le 25 juillet 2012 (Duché, 2013)

Cependant, aujourd'hui, ces mesures – qui ne concernent que la baisse des émissions, mais ne traitent pas ou peu des concentrations ni de l'exposition des populations – semblent insuffisantes. Il existe un vrai besoin de développer une approche plus holistique face à la problématique de la qualité de l'air. Nous devons adapter les systèmes urbains pour que les villes puissent devenir résilientes à la pollution atmosphérique (Cariolet et al., 2015). Cela requiert une vision transversale, pluridisciplinaire et multi-échelle sur diverses questions d'urbanisme et d'architecture. La problématique de la qualité de l'air nécessite d'être prise en considération plus en amont et intégrée à la phase de conception urbaine.

### La pollution atmosphérique extérieure

Dans l'objectif de questionner comment nous pouvons agir pour la qualité de l'air dès la conception de la ville, nous devons tout d'abord caractériser la pollution de l'air extérieur en milieu urbain. Il est nécessaire de déterminer ses aspects pertinents pour notre étude, les polluants les plus nocifs en milieu urbain, leurs sources, etc.

## Les Polluants

Dans un document de l'ADEME, la définition des polluants est la suivante :

*« Les polluants de l'air sont des agents chimiques, physiques ou biologiques qui affectent à court ou à long terme la santé des êtres vivants (principalement par inhalation, mais aussi par contact) et des écosystèmes (en se déposant sur les sols et les végétaux ou dans l'eau). »(ADEME, 2015a) <sup>1</sup>*

Les polluants, selon leur formation, sont scindés en deux groupes, primaires et secondaires. Les polluants primaires ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , etc.) sont directement issus des sources de pollution. Les polluants secondaires ( $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , les particules secondaires, etc.) se forment dans l'air à partir des polluants primaires. Cela se réalise sous certaines conditions météorologiques (le rayonnement solaire et la chaleur sont des facteurs importants) et à l'issue d'interactions chimiques entre les substances(ADEME, 2015a). Certains polluants comme  $\text{NO}_2$  et certaines particules sont à la fois des polluants primaires et secondaires(Airparif, n.d.).

Les polluants sont classés aussi en deux groupes selon leur état physique dans l'air : les polluants sous forme de particules (comme  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , les métaux lourds, etc.) et ceux à l'état gazeux (comme  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , etc.)(WHO, 2014b).

Les polluants ont également différentes échelles d'influence. Cela dépend de leur durée de vie atmosphérique<sup>2</sup>. Par exemple, certains polluants issus du trafic (comme les  $\text{NO}_x$ ) ont une durée de vie relativement courte. Ainsi, à proximité de la source, à l'échelle locale, les concentrations sont importantes mais elles ne sont pas très significatives pour la pollution de fond. Cependant, la durée de vie atmosphérique de certains polluants (comme  $\text{CH}_4$  ou  $\text{N}_2\text{O}$ ) peut se compter en années ; ils peuvent donc se disperser à l'échelle mondiale(WHO, 2014b). La plupart des études scientifiques distinguent trois échelles : intra-urbaine/urbaine, régionale et mondiale.

En général, les polluants de l'air les plus importants et les plus souvent étudiés sont<sup>3</sup> :

Primaires :

- Particules de taille inférieure à  $10 \mu$  ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ )
- Oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) (qui comprend le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ))
- Protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Ammoniac ( $\text{NH}_3$ )
- Dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ )
- Monoxyde de carbone (CO)
- Composés organiques volatils (COV)
- Polluants organiques persistants (POP)
- Plomb (Pb)
- Méthane ( $\text{CH}_4$ )

---

1 La pollution de l'air ne résulte pas seulement de l'introduction de nouvelles substances. Elle peut résulter aussi d'un changement des concentrations des substances déjà présentes dans l'air à l'état naturel, qui peuvent générer une gêne ou un risque pour la santé humaine et pour l'environnement dans le cas de fortes concentrations. (ADEME, 2015a)

2 Pour plus des détails voir l'annexe 3

3 Pour plus des détails voir l'annexe 1

Secondaires :

- Certaines particules de taille inférieure à  $10\ \mu$  ( $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ )
- Ozone ( $O_3$ )
- Dioxyde d'azote ( $NO_2$ )

En matière de santé publique, la directive de l'Organisation Mondiale de la Santé fixe des seuils à ne pas dépasser pour quatre polluants :

- Particules de taille inférieure à  $10\ \mu$  ( $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ ), considérées comme les plus nocives pour la santé
- Ozone ( $O_3$ )
- Dioxyde d'azote ( $NO_2$ )
- Dioxyde de soufre ( $SO_2$ )

### Les sources de pollution

La pollution atmosphérique n'est pas seulement anthropogénique. Elle peut être aussi d'origine naturelle<sup>1</sup>.



3. Figure : Quels sont les principaux polluants de l'air (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, n.d.)

Les principales activités humaines responsables de la pollution de l'air sont les transports (surtout le trafic routier), la production d'énergie, les industries, le chauffage (surtout commercial et domestique), l'agriculture, etc. Cependant, les éruptions volcaniques, les plantes, les incendies, l'érosion, la foudre, etc., émettent aussi des polluants (ADEME, 2015a). L'air ne peut donc pas être complètement exempt de polluants. Nous parlons de « pollution atmosphérique » quand les concentrations des polluants deviennent dangereuses pour la santé humaine et l'environnement.

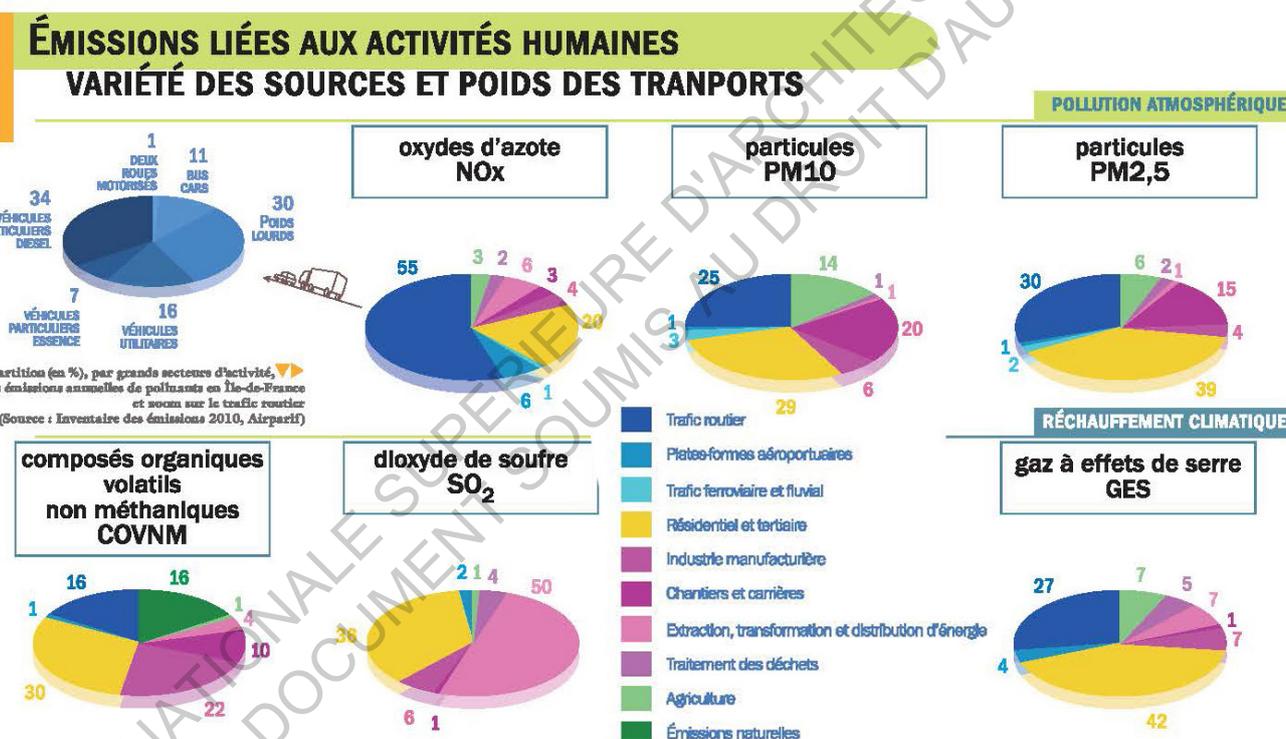
1 Cependant, l'article 2 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996 définit la pollution atmosphérique comme :

« l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives ».

(Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie)

Les sources de pollution de l'air extérieur sont aussi classées en sources mobiles (par exemple les véhicules) ou sources fixes (par exemple les industries)(Thibaut, 2000). Pourtant, généralement, les chercheurs ne s'intéressent pas à l'effet individuel des véhicules. Plus souvent, ils se réfèrent à la moyenne des véhicules qui ont emprunté une route dans un temps donné. Cette catégorisation (mobile et fixe) est donc peu utilisée en pratique. La catégorisation qui est considérée comme la plus adéquate est basée sur la forme des sources. On distingue ainsi les sources ponctuelles, linéaires et surfaciques(WHO, 2014b).

Dans le milieu urbain, les sources principales de pollution de l'air extérieur sont le trafic routier, le chauffage et l'énergie<sup>1</sup>. Dans notre étude, nous allons nous focaliser sur le trafic routier. Nous faisons ce choix pour deux raisons : premièrement, le trafic routier constitue la plus importante source de pollution de l'air urbain ainsi que la plus nocive(AirParif, 2012) ; deuxièmement, nous considérons que le transport est très lié à la forme urbaine. Cependant, ce choix implique une restriction du cadre de notre recherche. Car en matière d'énergie et de chauffage, les choix des concepteurs peuvent influencer la qualité de l'air extérieur. Par exemple, l'intégration d'un réseau de chaleur dans un projet urbain peut jouer en faveur de la qualité de l'air extérieur.



- L'ensemble du trafic routier** est responsable en Île-de-France de :
- Moins de la moitié des émissions de NOx, les poids lourds à eux seuls contribuant à plus de 15 % des émissions régionales ;
  - Environ un quart des émissions de PM10 et PM2,5 ;
  - Moins de 20 % des émissions de COVNM, les deux roues contribuant à près de 50 % des émissions du trafic routier ;
  - Plus du quart des émissions de gaz à effet de serre.

**Le secteur résidentiel et tertiaire** représente environ 30 % des particules PM10 émises en Île-de-France, près de 40 % des PM2,5 (notamment à cause du chauffage au bois domestique) et 30 % des émissions de COVNM.

**Les activités Industrielles, chantiers et carrières** émettent plus d'un tiers des COVNM, près d'un tiers des PM10 et environ un quart des PM2,5. La production d'énergie représente à elle seule la moitié des rejets de SO2 de la région. Quant au traitement des déchets, il est responsable de 2 % des rejets de NOx et de 4 % des rejets de SO2.

**Les aéroports** (trafic aérien et plateformes) contribuent à hauteur de 6 % aux émissions régionales de NOx. A titre d'exemple, l'ensemble des activités de l'aéroport de Roissy émet deux fois plus de NOx que le Boulevard périphérique:

4. Figure: La variété des sources et poids des transports (<https://www.airparif.asso.fr/>)

1 Pour plus de détails voir l'annexe 4

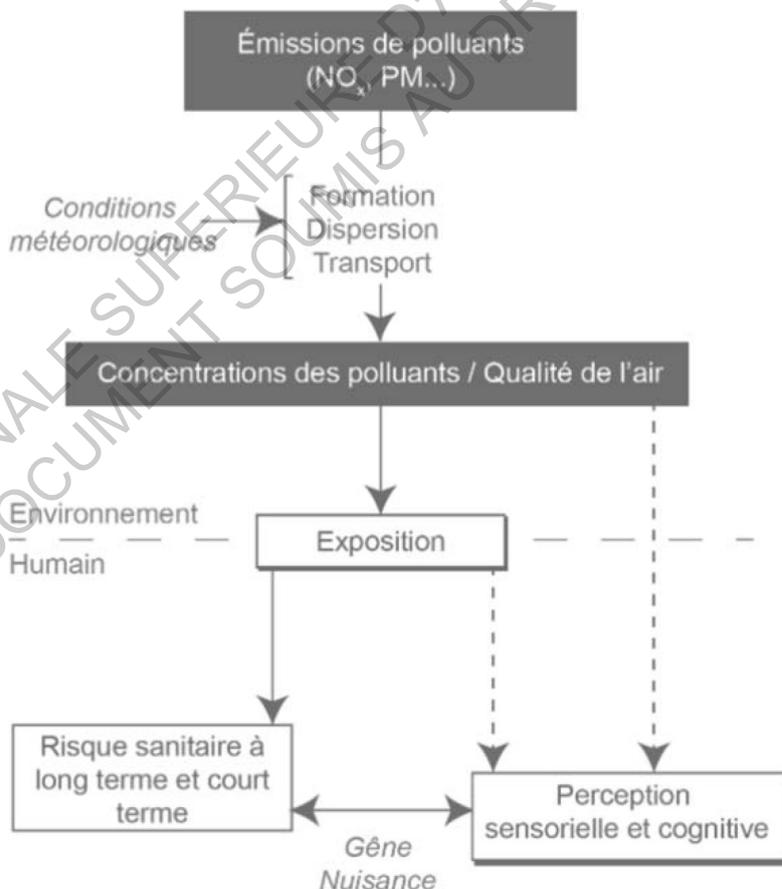
## La conception urbaine et la pollution atmosphérique

D'un point de vue urbanistique, une meilleure connaissance des polluants les plus nocifs, à savoir leurs sources majeures, le comportement des concentrations selon les conditions microclimatiques et l'environnement physique, leur durée de vie atmosphérique et leur échelle d'influence, est importante. Cette connaissance permettra aux concepteurs (urbanistes et architectes) d'adapter la morphologie urbaine pour réduire les émissions, les concentrations et protéger les citoyens contre l'exposition à la pollution de l'air.

Cependant, à l'échelle urbaine et intra-urbaine, les concentrations des polluants sont très hétérogènes et exigent des modélisations complexes et longues à mettre en œuvre. Gilles Maignant, dans sa recherche sur la modélisation de la dispersion des polluants à l'échelle intra-urbaine, précise :

*« Ce ne sont pas les émissions qui sont directement perçues par les citoyens. (...) Le terme « immission »<sup>1</sup> désigne la résultante des émissions après dispersion, c'est-à-dire après modification par la morphologie urbaine et par des paramètres météorologiques, comme le vent, eux aussi influencés par la présence du bâti. »(Maignant, 2006)*

Pour les concepteurs, cette complexité rend difficile à comprendre et à maîtriser le phénomène de la pollution atmosphérique. Cela constitue le premier problème qui doit être résolu afin d'agir le plus en amont possible et de développer une approche holistique face à la pollution de l'air urbain.



5.Figure: Les étapes de l'exposition à la perception individuelle de la pollution de l'air - (Duché, 2013)

1 Le terme « immission » désigne donc les concentrations. Pour ce mémoire, nous emploierons le terme de « concentration » qui est plus communément employé par les chercheurs de différents domaines.

## Problématique

La problématique centrale de ce mémoire est la suivante : « Comment la question de la qualité de l'air extérieur peut-elle être prise en compte lors de la conception d'un projet urbain ? ».

Tout d'abord, nous expliquerons ce que nous entendons par « projet urbain ». Cela nous permettra aussi de préciser l'échelle considérée dans ce mémoire. Ensuite, nous indiquerons pourquoi nous avons articulé la problématique centrale du mémoire en deux parties.

### Projet urbain

Deux raisons majeures expliquent pourquoi nous avons focalisé sur le projet urbain dans notre recherche. La première est le fait qu'aujourd'hui le projet urbain est devenu une pratique courante de la fabrique de la ville (Tardieu, 2016)<sup>1</sup>. La deuxième est le caractère multi-échelle du projet urbain, permettant de mettre en place une planification stratégique du territoire à travers des interventions locales à différentes échelles<sup>2</sup>.

Lors de notre recherche, nous avons constaté que les pratiques du projet urbain ne sont pas uniformisées (le processus de chaque projet se déroule différemment) et que la notion reste assez floue. Nous nous sommes donc basée ici sur le classement et la définition donnés par Arab, dans le cadre de sa thèse sur l'activité de projet dans l'aménagement urbain (Arab, 2004). Elle distingue trois catégories de projets urbains selon leurs échelles d'intervention :

- Les projets de territoire.
- Les projets d'édifice.
- Les projets urbains complexes (appelés aussi « projets d'aménagement urbain » ou « grandes opérations d'urbanisme »).

L'échelle que nous considérons adéquate pour notre étude couvre « le projet d'édifice » et « le projet urbain complexe ». Arab définit le projet urbain complexe ainsi :

*« Contrairement aux projets de territoire, ils [les projets urbains complexes] se traduisent par une transformation concrète de l'espace et sont bornés dans le temps [...]. Contrairement aux projets d'édifice, l'objet ne porte pas tant sur la conception et la construction d'un bâtiment que sur les choix d'urbanisation et donc de transformation de l'espace et de ses usages. Ils sont, en quelque sorte, intermédiaires entre les projets de territoire et les projets d'édifice. Les projets de territoire constituent le cadre stratégique global dans lequel ils s'inscrivent tandis que les projets d'édifice en sont des « sous-produits » ou des « sous-projets » comme ils peuvent en être totalement indépendants. » (Arab, 2004)*

### Organisation de la problématique

Nous avons vite remarqué que, pour bien cerner la problématique « comment la question de la qualité de l'air extérieur peut-elle être prise en compte lors de la conception d'un projet urbain ? », il est nécessaire de la décomposer en deux parties.

Tout d'abord, nous devons questionner, comme nous venons de l'évoquer, comment les concepteurs

---

1 Entretien avec Charlotte Tardieu, voir l'annexe 6

2 La loi Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) promeut le recours au projet urbain, la planification stratégique du territoire aux différentes échelles d'intervention de l'action locale. (Tardieu, 2016)

peuvent appréhender la problématique de la qualité de l'air. Dans notre recherche, nous prenons la morphologie urbaine comme point d'entrée. Il faut mettre en évidence en quoi la forme urbaine peut jouer un rôle sur la qualité de l'air extérieur. Les résultats des études scientifiques sur ce sujet doivent être clarifiés et structurés pour que les concepteurs puissent s'en servir et ainsi faire des choix mieux renseignés en matière de qualité de l'air.

La deuxième question concerne l'intégration de ces facteurs permettant d'agir sur la qualité de l'air extérieur dans le processus opérationnel d'un projet urbain. Les solutions potentielles interviennent à différentes échelles et sur différents objets (bâtiment, rue, service des transports, etc.). Il s'agit ici, dans le contexte français, de questionner les pratiques actuelles, de déterminer les étapes clés pour intégrer les éléments liés à la pollution de l'air, et de mieux comprendre le rôle des acteurs et celui des réglementations.

## Méthodologie

La première étape de notre recherche vise à mettre en évidence l'interaction entre la forme urbaine et la qualité de l'air extérieur à travers des indicateurs pour faciliter la compréhension et la maîtrise de cette interaction par les différents acteurs du projet urbain. Pour y parvenir, une recherche bibliographique a été menée dans le but de recenser les indicateurs urbains existant sur ce sujet. L'étude de plusieurs publications dans différents domaines (comme la santé publique, le transport, le microclimat urbain, etc.) a été réalisée en nous référant aux critères déterminés par Cariolet et al. (2015) pour évaluer la résilience urbaine en matière de pollution de l'air extérieur.

Ces critères correspondent aux trois capacités que les systèmes urbains (ici à travers des formes urbaines) doivent développer en vue d'atteindre des objectifs concernant la qualité de l'air urbain : la capacité à réduire les émissions, la capacité à disperser les concentrations des polluants et la capacité à réduire l'exposition des populations, c'est-à-dire la capacité des formes urbaines à les protéger.

Les indicateurs retenus pour ces trois critères qui seront développés plus loin, sont les suivants :

- La capacité à réduire les émissions : la marchabilité, la cyclabilité et l'accessibilité aux transports publics.
- La capacité à disperser les concentrations des polluants : la longueur de rugosité et la hauteur de déplacement, le facteur de vue du ciel, la porosité, les couloirs de ventilation<sup>1</sup>, l'indice de construction de Landsberg.
- La capacité à réduire l'exposition des populations : la distance à la source de pollution, l'ExTra Index.

La deuxième étape de notre recherche vise à mettre en lien les différents indicateurs avec le processus opérationnel actuel d'un projet d'aménagement. Ce travail a été plus inductif, plus exploratoire. Une recherche bibliographique, des observations de terrain et des entretiens ont été réalisés autour de la problématique générale (liée aux objectifs environnementaux ou au processus opérationnel des projets urbains) sans que des hypothèses préalables soient bien définies. Les questionnements ont surgi au fur et à mesure de l'avancée de la recherche.

Suivant les problématiques qui se sont ainsi dégagées, nous avons ressenti la nécessité de mettre en place un modèle type théorique d'un processus opérationnel. Cette schématisation nous a permis de questionner l'utilité opérationnelle des indicateurs recensés en prenant en compte plusieurs facteurs inclus dans les projets urbains actuels (les étapes de réalisation, les réglementations, les acteurs impliqués, etc.). Cela nous

---

1 Le couloir de ventilation n'est pas considéré comme un indicateur. Mais les scientifiques proposent une série de paramètres pour définir ces couloirs de ventilation.

a aussi fourni un support visuel, schématique pour faciliter la communication avec les différents acteurs.

Pour cette deuxième partie de la recherche, l'observation des réunions du projet MESH a été essentielle. Plusieurs aspects de ce projet correspondent aux objectifs de notre recherche : son échelle (celle d'un projet d'aménagement), son ambition de développer une approche autant scientifique qu'opérationnelle basée sur des indicateurs, son objectif de mettre en place non seulement un outil d'aide à la décision ou d'évaluation mais aussi d'aide à la conception, etc. Les réunions représentaient une occasion de suivre les discussions entre les différents acteurs (scientifiques, ingénieurs, architectes, etc.) et de prendre conscience des difficultés rencontrées pour élaborer un outil disponible à la fois pour les concepteurs et pour les autres acteurs afin d'assurer la performance environnementale des projets urbains.

Outre l'observation des réunions du projet MESH, trois entretiens ont été réalisés : avec Charlotte Tardieu, docteure en aménagement et urbanisme, sur les conditions de mise en œuvre de la transition énergétique dans plusieurs projets urbains ; avec Gérard Thibaut, ingénieur expert dans le domaine de l'environnement atmosphérique urbain, sur l'actualité de la problématique de la pollution de l'air urbain ; enfin avec Laurent Ducourtieux, enseignant-chercheur, responsable de l'axe espace public et aménagement urbain à l'École des Ingénieurs de la Ville de Paris, sur les processus opérationnels des projets urbains. Ces entretiens nous ont permis d'orienter la recherche et de faire surgir les problématiques liées à notre sujet. Ils nous ont aussi permis d'apporter un regard extérieur et de préciser les limites de notre étude.

## 2) PARTIE I : Comment appréhender la problématique de la pollution de l'air extérieur à travers des indicateurs morphologiques?

### **Introduction**

Cette première partie du mémoire consiste en un recensement des indicateurs urbains, issus de différents domaines scientifiques, qui lient formes urbaines et qualité de l'air extérieur. Notre objectif est de déterminer comment les concepteurs peuvent intégrer la problématique de la pollution de l'air extérieur dans le projet urbain et architectural.

Nous expliquerons dans un premier temps pourquoi nous nous servons des indicateurs, quels sont nos critères pour ce recensement et comment nous avons structuré cette recherche bibliographique. Dans un second temps, les indicateurs choisis, en lien avec notre étude, seront détaillés suivant les critères.

## Pourquoi des indicateurs ?

La qualité de l'air extérieur à l'échelle intra-urbaine, comme nous l'avons évoqué auparavant, est une problématique difficile à appréhender pour les non-spécialistes parce qu'elle mobilise les domaines de la chimie, de la physique, de l'épidémiologie, etc. Les aménageurs, urbanistes et architectes sont souvent assez démunis pour traiter cette question. Nous pensons qu'à travers les indicateurs, les principes de base peuvent être rendus plus clairs pour les différents acteurs du projet, pour la raison suivante :

*« Un indicateur est un instrument capable de convoier de l'information sous forme synthétique, par le biais de différentes représentations (nombres, graphiques, cartes thématiques, etc.) sur un phénomène plus complexe et ayant une signification plus ample. (Fusco, 2003 cité dans Maignant, 2006) »*

Les indicateurs sont généralement utilisés pour une évaluation, mais ils peuvent aussi servir comme support d'aide à la décision (ajustement et rétroaction) lors de l'élaboration d'un projet. Ils simplifient la compréhension des faits scientifiques (ils ont un caractère transdisciplinaire et peuvent être quantitatifs ou qualitatifs) et permettent aux différents acteurs du projet (les élus, les concepteurs, les scientifiques, les utilisateurs, etc.) de dialoguer entre eux.

Il existe un grand nombre d'études scientifiques qui ont mis en place des indicateurs pour l'évaluation de formes urbaines. Parmi ces indicateurs, il est nécessaire de déterminer ceux qui pourront devenir un outil au service des concepteurs pour intégrer la problématique de la pollution de l'air extérieur dès la phase de conception.

L'usage d'un système d'indicateurs pour guider les projets urbains dans l'atteinte d'objectifs précis n'est pas une pratique nouvelle. Cela se généralise surtout pour la mise en œuvre du développement durable ("L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ?", n.d.). Par exemple, la ville de Paris a mis en place le référentiel « Un aménagement durable pour Paris » (Mairie de Paris, n.d.) qui propose plusieurs indicateurs clés. Ce document s'adresse avant tout aux agents municipaux qui suivent les opérations d'aménagement. Il s'agit d'une grille d'indicateurs qui permet aux comités de pilotage de valider la pertinence des actions menées lors des différents projets urbains en vue d'atteindre des cibles de développement durable.

Cependant, lors de notre recherche, nous avons pu observer que cette utilisation actuelle des indicateurs est souvent critiquée<sup>1</sup>. Ceci est lié au fait qu'il est difficile de fixer des objectifs chiffrés applicables à des projets urbains variés. Pour le bon fonctionnement d'une grille d'analyse, il faut que la méthodologie de définition de ces objectifs soit transparente et compréhensible par tous les acteurs. Les objectifs doivent être à la fois appropriables par les différents acteurs et techniquement conséquents. Sinon, une grille d'indicateurs fixant des objectifs chiffrés risque de figer les solutions et donc d'empêcher l'innovation (Tardieu, 2016)<sup>2</sup>. Nous faisons l'hypothèse qu'il est possible d'utiliser des indicateurs autrement, en les mettant au service des acteurs tout au long du projet. Nous pensons que cela permettra de mieux déterminer les objectifs, de les atteindre et aussi d'évaluer les méthodes employées pour les atteindre.

---

1 Nous avons pu constater cela lors des entretiens réalisés. En outre, l'un des objectifs du projet MESH est d'intégrer les indicateurs le plus en amont possible dans le processus de réalisation des projets d'aménagement.

2 Entretien avec Charlotte Tardieu. Voir l'annexe 6

## Quels indicateurs ?

Afin de recenser les indicateurs déterminants en matière de qualité de l'air extérieur, nous devons tout d'abord identifier les domaines en lien avec le sujet (par exemple le transport urbain, la dynamique des fluides, etc.) et clarifier quels sont les critères attendus des formes urbaines.

Pour cela, comme nous l'avons déjà mentionné, nous nous référons au travail de Cariolet et al. (2015) qui définit une approche de la problématique de la pollution de l'air par le biais de la résilience urbaine<sup>1</sup>.

La méthode mise en place par Cariolet et al. (2015) pour évaluer la résilience des systèmes urbains face à la pollution de l'air extérieur consiste en un calcul, via un Système d'Information Géographique (SIG), des trois capacités que la morphologie urbaine doit posséder :

- la capacité des formes urbaines à réduire les émissions de polluants dues au trafic routier,
- la capacité des formes urbaines à disperser les concentrations de polluants,
- la capacité des formes urbaines à réduire l'exposition des populations et donc à les protéger.

Cette recherche vise également à fournir aux différents acteurs du projet, comme les décideurs et les concepteurs, des informations scientifiques faciles à comprendre sur la qualité de l'air.

Cette méthode de Cariolet et al. (2015) a été testée à l'échelle du Grand Paris. Dans notre étude, nous nous focaliserons plutôt sur une échelle intra-urbaine afin de questionner la prise en compte de la problématique de la pollution de l'air extérieur lors de la réalisation des grands projets urbains.

Le projet MESH, avec son terrain d'application Ivry-Confluences<sup>2</sup>, nous guide dans ce travail de recensement des indicateurs pour qu'ils répondent à des besoins opérationnels. Autrement dit, le travail ne consiste pas à réaliser une liste exhaustive d'indicateurs morphologiques. Les données nécessaires pour leur calcul, la facilité de leur acquisition, leur précision et leur simplicité sont des critères importants dans notre choix des indicateurs afin que ceux-ci soient opérationnels et adéquats à la phase de conception. Certains indicateurs d'évaluation de formes urbaines nécessitent par exemple des données issues d'enquêtes de terrain (par exemple pour la cyclabilité, une enquête de terrain est faite pour évaluer les routes en fonction de la sensation de circuler en sécurité des habitants (Van Dyck et al., 2012)). Ces indicateurs ne seront pas adaptés pour guider les concepteurs dans leurs choix en amont de la réalisation parce qu'il ne sera pas possible d'acquérir les données nécessaires. Ce type d'indicateurs n'est pas pris en compte dans notre recherche.

## Le recensement des indicateurs

Nous allons lister ici les indicateurs retenus en trois groupes. Ces groupes correspondent aux capacités attendues de la forme urbaine pour la qualifier de « résiliente » face à la pollution atmosphérique (Cariolet et al., 2015).

Dans la littérature scientifique, il existe parfois différentes méthodes de calcul pour un indicateur. Nous avons choisi celles qui sont les plus acceptées ou qui correspondent le mieux à nos critères explicités précédemment. La présentation de chaque indicateur se compose d'une description brève, des paramètres nécessaires pour leur calcul et de la méthode de calcul.

---

1 Leur travail a été réalisé dans le cadre du projet européen JOAQUIN (Joint Air Quality Initiative) dont l'objectif consiste à soutenir la politique en matière de santé et qui vise principalement la qualité de l'air en Europe.

2 Projet d'Ivry Confluences- 145 ha- 1 300 000 m<sup>2</sup>- 9 000m<sup>2</sup>/ha.

## 1. La capacité de la forme urbaine à réduire les émissions de polluants

Les sources endogènes de la pollution atmosphérique dans les villes sont nombreuses. Parmi elles, nous nous sommes intéressée au trafic routier, parce qu'il est la plus importante source de pollution en ville (ADEME, 1998) (WHO, 2005). Il émet plusieurs polluants ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $C_6H_6$ , etc.) qui sont directement nocifs pour la santé (AirParif, 2012) (Su et al., 2015).

Plusieurs études scientifiques ont démontré des liens entre urbanisme, dépendance à l'automobile et moyens de transport choisis par les usagers pour se déplacer (Parker, 1994) (Crane, 1996) (Newman, et al. 1996). C'est pourquoi, en termes de réduction des émissions, nous considérerons la capacité de la forme urbaine à limiter l'usage de véhicules personnels polluants<sup>1</sup>. Notre étude se focalisera principalement sur les indicateurs de marchabilité, de cyclabilité et d'accessibilité aux transports publics.

### Marchabilité

La marchabilité est un indicateur qui mesure l'impact positif d'un milieu urbain sur la pratique de la marche (Marshall, et al., 2009). Plusieurs domaines d'études, allant de la santé publique à l'économie immobilière, s'en servent. Les paramètres pris en compte et les méthodes de calcul se différencient d'un domaine à l'autre<sup>2</sup>.

Nous avons retenu les méthodes qui correspondent à nos critères de choix : l'accessibilité des données nécessaires, la facilité de calcul, l'échelle, etc. La méthode de calcul de l'indicateur doit permettre à l'architecte ou à l'urbaniste d'évaluer et/ou de mieux concevoir un projet d'aménagement afin qu'il favorise la pratique de la marche.

### Méthode de Frank et al. (1998) :

Les études menées par Lawrence D. Frank et al. sur la marchabilité sont pionnières sur le sujet. Les auteurs ont étudié la marchabilité surtout en lien avec la santé publique. Ils expliquent l'influence de l'environnement construit sur la santé publique en trois phases :

*« Premièrement, par son effet direct sur les déplacements motorisés; deuxièmement, par l'effet des émissions résultantes des automobiles sur la qualité de l'air; troisièmement, par la relation entre la qualité de l'air et la santé. » (Frank & Engelke, 2005)<sup>3</sup>*

L. D. Frank et al. identifient deux notions déterminantes sur la marchabilité des quartiers : la proximité et la connectivité (Frank, et al., 2005). La proximité s'appuie surtout sur des paramètres de « densité » (des habitants ou des unités de vie) et de mixité des fonctions. Il faut entendre par « mixité des fonctions » la distribution spatiale des différentes fonctions (commerce, habitat, industrie, etc.) qui permet d'évaluer la variété des destinations à proximité de la résidence ou du lieu du travail d'une personne. Quant à la connectivité, cette notion se réfère à la densité des croisements de rues dans la zone étudiée. Frank et al. partent du principe que plus il y a de croisements de routes dans une zone, plus les possibilités de trajets pour aller d'un point a à un point b sont nombreuses (Frank, et al., 2008).

1 L'approvisionnement en énergie est une autre source de pollution atmosphérique sur laquelle la conception urbaine et architecturale peut avoir un effet indirect. Cependant, elle n'a pas été incluse dans cette recherche.

2 À la fin des années 90, Lawrence D. Frank et Anne Vernez Moudon sont parmi les premières à avoir travaillé sur la marchabilité. Aujourd'hui, dans la littérature scientifique, nous trouvons de nombreux modèles numériques sur le sujet.

3 *« (...) first, by its direct effect on motorized travel; second, by the effect produced by the resulting automobile emissions on air quality; and third, by the relationships between air quality and health. »*

L. D. Frank et al., lors de leur travail sur la région d'Atlanta dans le cadre du programme SMARTRAQ (Strategies for Metropolitan Atlanta's Regional Transportation and Air Quality)(Frank, et al., 2007), ont déterminé cinq niveaux de marchabilité. Les études ont montré que, selon cette méthode, chaque avancement de niveau entraîne 6 % de réduction de NO<sub>x</sub> et 3,5 % de réduction de particules fines (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>)(Frank, et al., 2007).

Cette méthode que Frank et al. ont implémentée a été reprise par de nombreux chercheurs et a également été adaptée sur plusieurs villes européennes. Elle a été aussi comparée et validée par des enquêtes faites sur le terrain d'étude(Van Dyck, et al., 2012).

#### Les paramètres utilisés par la méthode de Frank :

- Densité résidentielle : nombre d'unités résidentielles par ha.
- Connectivité des rues : nombre d'intersections par km<sup>2</sup>.
- Mixité des types d'occupation des sols :  $A / (\ln(N))^{-1}$ .
- Coefficient de surface commerciale : surface totale des planchers des bâtiments commerciaux divisée par la surface des parcelles dédiées au commerce.

#### Le calcul se fait avec des z-scores<sup>2</sup> :

Marchabilité = (2 x z-connectivité) + (z-densité résidentielle) + (z-mixité d'occupation du sol) + (z-coefficient de surface commerciale)

#### **Méthode de TUDelft :**

À l'Université de Technologie de Delft (TUDelft), des chercheurs<sup>3</sup> ont mis en place un modèle computationnel<sup>4</sup> qui évalue l'accessibilité piétonne aux services essentiels dans un quartier. Ils se sont basés sur les travaux de Moudon et al. (2006) sur les liens entre la marchabilité et la morphologie urbaine. La particularité de cette recherche réside en la prise en compte de la topographie de la zone étudiée et l'importance relative des services (des « destinations » qui sont considérées ici comme des « points d'attraction »).

Ce modèle développé au TUDelft identifie trois notions déterminantes influençant la marchabilité : la proximité, la connectivité et la topographie. Les deux premières sont identiques à la méthode de Frank. Cependant, elles se différencient par leur méthode de calcul. La définition de la proximité est par exemple différente car elle ne prend en compte ni la densité ni la mixité des fonctions mais le périmètre d'influence (*catchment enclosure*)<sup>5</sup> des points d'attraction prédéfinis et pondérés selon leur importance.

---

1  $A = (b_1/a) * \ln(b_1/a) + (b_2/a) * \ln(b_2/a) + (b_3/a) * \ln(b_3/a) + (b_4/a) * \ln(b_4/a) + (b_5/a) * \ln(b_5/a) + (b_6/a) * \ln(b_6/a)$

a = total square feet of land for all six land uses present in buffer

b1 = square ft. of building floor area in education uses

b2 = square ft. of building floor area in entertainment uses

b3 = square ft. of building floor area in single-family residential uses

b4 = square ft. of building floor area in multifamily residential uses

b5 = square ft. of building floor area in retail uses

b6 = square ft. of building floor area in office uses

N = number of six land uses with FAR > 0

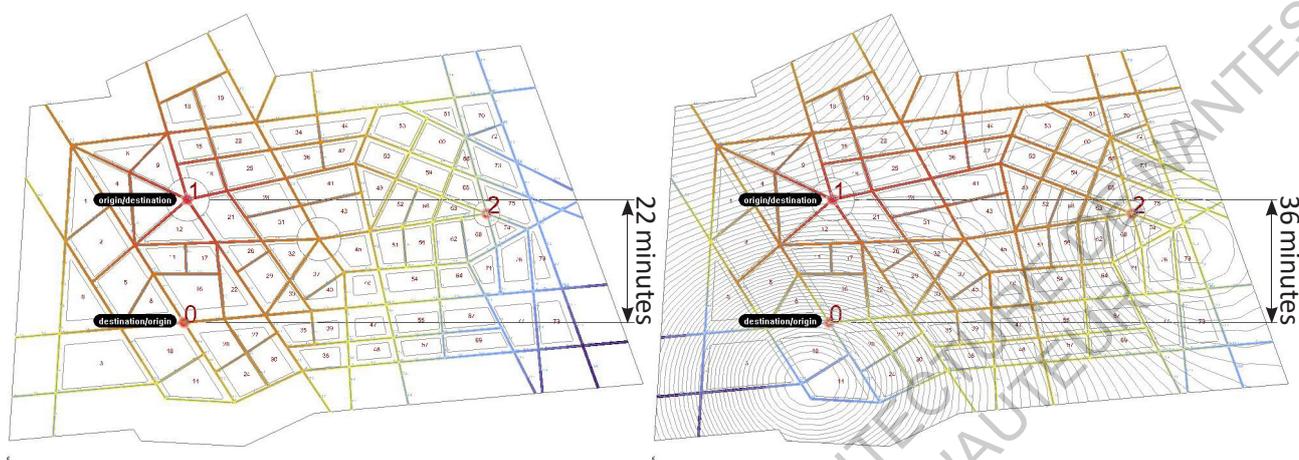
2 Une variable centrée réduite.

3 Recherche menée par Pirouz Nourian et Sevil Sariyildiz.

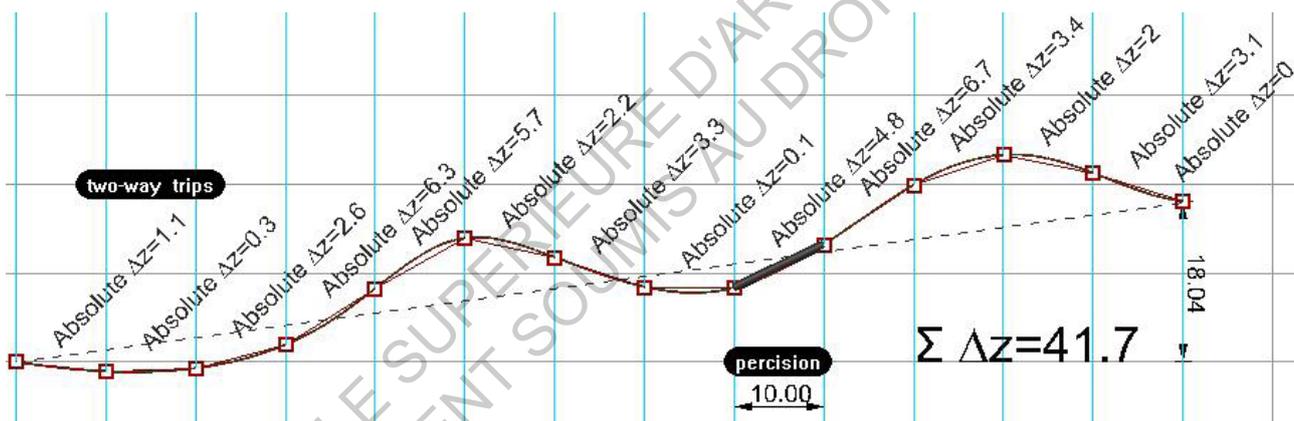
4 Ce modèle computationnel est implémenté sur Grasshopper®, qui est couplé avec Rhinoceros®, CAD plateforme.

5 C'est la distance qui pourrait être parcourue dans toutes les directions à partir des points d'attraction.

Concernant la connectivité, le modèle inclut le calcul du chemin le plus court entre les points d'attraction et attribue ensuite une valeur à chaque segment de ce chemin, selon la topographie. La 6. figure montre la différence de marchabilité quand la topographie est ignorée et quand elle est prise en compte. La 7. figure montre comment les valeurs sont attribuées sur un chemin, pour un aller-retour la différences d'altitude absolue est prise en compte.



6. Figure: Prise en compte de la topographie dans le calcul de la marchabilité (Nourian, et al., 2012)



7. Figure: Quantification de la difficulté de la marchabilité selon la topographie. (Nourian et al., 2012)

#### Autres méthodes :

Parmi les nombreuses études menées sur la marchabilité, deux méritent d'être mentionnées. La première est le WalkScore (Walk Score, n.d.). C'est un moteur de recherche qui donne un score sur 100 de marchabilité, transport public et cyclabilité selon l'adresse communiquée. Cette forme de moteur de recherche<sup>1</sup> le rend très accessible et largement utilisé. Il est basé sur des études scientifiques (Walk Score, n.d.) (Duncan, et al., 2011). Plusieurs paramètres y sont pris en considération tels que la densité des destinations (magasins, banques, bureaux de poste, etc.), le nombre d'intersections de routes, la longueur des îlots, etc. En revanche, ni l'algorithme ni la méthode de calcul ne sont communiqués avec précision.

La deuxième méthode est l'UMI<sup>2</sup> développée à l'Institut de technologie du Massachusetts. Il s'agit d'une plateforme de design urbain qui permet l'évaluation de la consommation énergétique, de la marchabilité, de la lumière du jour et du confort des espaces extérieurs, dans l'idée de guider la conception des projets (Reinhart, et al., 2013). La méthode employée par UMI pour la marchabilité est basée sur le WalkScore.

1 <https://www.walkscore.com/>

2 <http://urbanmodellinginterface.ning.com/>

## Cyclabilité

La cyclabilité est un indicateur qui mesure l'impact positif d'un milieu urbain sur la pratique du vélo. Il existe beaucoup de similitudes entre la cyclabilité et la marchabilité (Winters, Frank, et al., 2013). La plupart des méthodes utilisées dans la littérature pour calculer la cyclabilité, comme pour la marchabilité, se basent sur des audits et des questionnaires remplis par des experts ou des cyclistes (Harkey, et al., 1998) (Emery, et al., 2003) (Van Dyck, et al., 2013). Nous avons décidé ici de détailler la méthode de Winters et al. (2013) qui est calculée à partir d'un outil SIG et la méthode de Krenn et al. (2015) qui propose une adaptation de la première méthode aux villes européennes.

### **Méthode de Winters et al. (2013) :**

Cette méthode a été développée dans le cadre du projet de recherche « Cycling in cities » ("Cycling in Cities: Studying cycling motivators, bikeability, and injury risk factors," n.d.), basé à l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver (Winters, Brauer, et al., 2013).

#### Les paramètres utilisés :

- Densité des pistes cyclables.
- Pistes cyclables séparées des voies de circulation routière.
- Connectivité : densité des intersections de rues adaptées pour les cyclistes.
- Topographie : différence de dénivelé.
- Densité des points de destination : commerciale, éducationnelle, bureaux et loisirs.

#### Méthode de Krenn et al. (2015) :

Cette méthode adapte l'indicateur de cyclabilité proposé par Winters et al. (2013) à une ville européenne de taille moyenne, Graz en Autriche. Dans cette méthode, deux paramètres ne sont pas pris en compte : la connectivité et la densité des points de destination. En revanche, deux paramètres sont ajoutés : les routes principales sans pistes cyclables (impact négatif) et les zones vertes et bleues.

#### Les paramètres utilisés :

- Densité des pistes cyclables.
- Pistes cyclables séparées des voies de circulation routière.
- Routes principales sans pistes cyclables.
- Topographie : pente, à laquelle une valeur entre 1 et 7 a été attribuée.
- Zones vertes et bleues.

#### La méthode de calcul :

L'indice de cyclabilité a été calculé selon une grille de 100 m x 100 m. La surface des zones vertes et bleues a été calculée dans chaque cellule. Seul le paramètre « pistes cyclables séparées des routes » a été pondéré par 2 car il est pris en compte deux fois (densité des pistes cyclables, pistes cyclables séparées des routes).

## L'accessibilité aux transports publics

Les réseaux de transport public influencent la capacité des habitants d'un quartier à prendre les transports en commun plutôt qu'un véhicule personnel polluant pour se déplacer (Dulal, et al., 2011). Cette capacité peut être quantifiée à partir d'indicateurs d'accessibilité aux transports publics, à l'origine développés pour évaluer les différences de niveaux d'accès aux transports en commun au sein d'agglomérations (Al Mamun, et al., 2011).

L'indicateur d'accessibilité aux transports publics mesure à la fois l'impact positif de l'aménagement urbain sur l'utilisation des transports en commun (Dulal, et al., 2011) (Wegener, et al., 2004) et la qualité et l'efficacité des services fournis (Al Mamun, et al., 2011). Au cours de notre recherche, nous avons constaté que les paramètres utilisés pour calculer cet indicateur varient d'une étude à l'autre. Al Mamun et al. (2011) combinent les indicateurs existants<sup>1</sup> et définissent une méthode basée sur trois critères : couverture du réseau (*trip coverage*), couverture spatiale (*spatial coverage*, il s'agit de la proximité des arrêts) et couverture temporelle (*temporal coverage*). Nous donnons ci-dessous une liste non exhaustive des paramètres retenus par Al Mamun. D'autres méthodes peuvent intégrer des paramètres supplémentaires selon leurs orientations.

### Les paramètres :

- Données de mobilité (*transit data*) : la carte et les horaires de toutes les lignes de transport, la localisation des arrêts et la capacité des véhicules.
- Données de recensement (*census data*) : la surface totale, la population et le nombre d'employés.
- Couverture spatiale de l'accessibilité aux transports publics : le périmètre de 0,4 km autour des arrêts.
- Couverture temporelle des services : le nombre d'heures de service, la fréquence du service, le temps d'attente.

## 2. La capacité de la forme urbaine à disperser les concentrations des polluants

La ventilation en milieu urbain est un facteur clé pour la dispersion des concentrations de polluants à l'échelle intra-urbaine auxquelles les citoyens sont exposés. Cependant, comparées à l'échelle régionale, les concentrations à l'échelle de la canopée urbaine sont plus complexes à estimer, notamment car elles dépendent de plusieurs facteurs (comme la localisation, la topographie, le microclimat, les constructions environnantes, etc.) et sont très hétérogènes (Maignant, 2006). Parmi ces facteurs qui influencent le mouvement de l'air à l'échelle de la rue, la morphologie urbaine revêt une importance particulière car elle est le seul paramètre endogène qui permet d'agir. Les indicateurs décrivant les caractéristiques aérodynamiques des formes urbaines sont donc incontournables pour notre étude. Face au grand nombre d'indicateurs existant dans ce domaine, nous avons sélectionné les deux plus importants : la longueur de rugosité (*roughness length,  $Z_0$* )<sup>2</sup> et la hauteur de déplacement (*zero-plane displacement height,  $Z_d$* )<sup>3</sup> (C. S. B. Grimmond, et al., 1999) (Bottema, et al., 1998).

---

1 Pour plus de détails, voir le tableau en annexe 5.

2 Dans le profil logarithmique du vent, la longueur de rugosité correspond à la hauteur à laquelle la vitesse du vent est égale à zéro. Cet indicateur fournit une estimation de la rugosité moyenne des éléments de surface.

3 La hauteur de déplacement correspond à la hauteur à laquelle une surface non rugueuse devrait être placée pour avoir un profil de vent logarithmique égal à la surface observée.

Les autres indicateurs que nous détaillons ci-dessous sont le facteur de vue du ciel (qui a un lien potentiel avec la dispersion des polluants(Ratti, et al., 2002)), la porosité et l'indice de construction de Landsberg (permettant de caractériser en tridimensionnel l'espace bâti en milieu urbain(Maignant, 2005)).

Suite à notre recherche bibliographique, nous avons décidé d'inclure dans ce recensement la notion de « couloirs de ventilation » (*ventilation channels*). Il ne s'agit pas d'un indicateur distinct. Les scientifiques définissent les couloirs de ventilation en se basant sur plusieurs indicateurs et paramètres, notamment la longueur de rugosité, la hauteur de déplacement, etc. Nous avons pris en considération les couloirs de ventilation car ils jouent potentiellement un rôle important dans la réduction de la pollution dans les centres-villes denses(Gál, et al., 2009) (Suder, et al., 2013) (Cariolet, et al., 2015).

#### La longueur de rugosité et la hauteur de déplacement

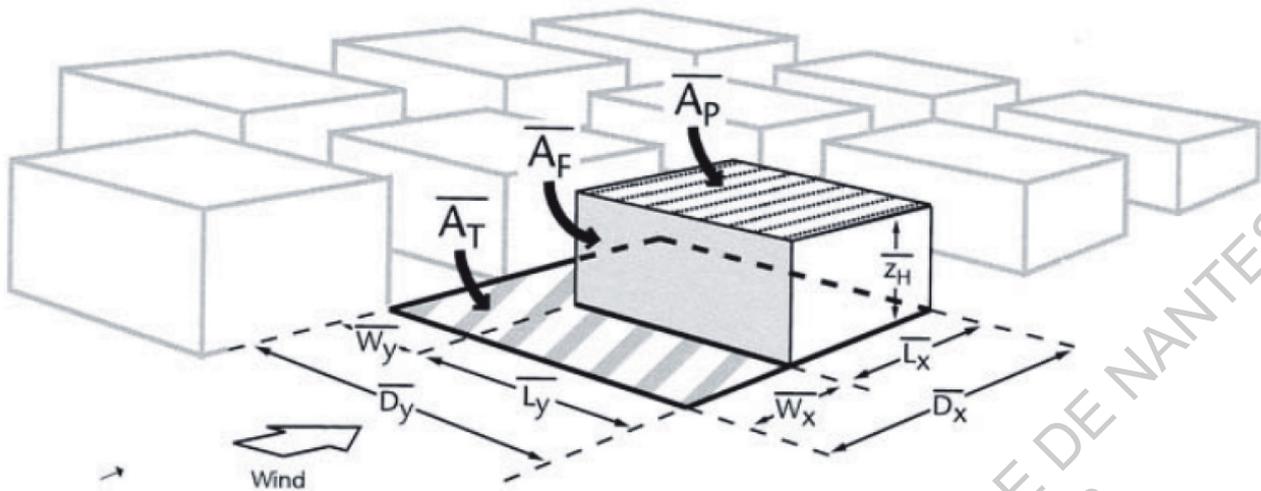
Plusieurs indicateurs dans la littérature permettent de mesurer la rugosité d'un tissu urbain. La longueur de rugosité ( $Z_0$ ) et la hauteur de déplacement ( $Z_p$ ) sont considérées comme les plus importants et sont les plus utilisés par les chercheurs(Ratti, et al., 2002) (Gál, et al., 2009) (C. S. B. Grimmond, et al., 1999). Ces indicateurs expriment notamment la capacité d'une zone urbaine à ventiler.

Il existe différentes approches pour calculer la longueur de rugosité et la hauteur de déplacement. Elles peuvent être regroupées dans deux catégories(C. S. B. Grimmond, et al., 1999) : morphométrique et micrométéorologique. Nous allons nous focaliser sur l'approche morphométrique.

Parmi les différentes méthodes de calcul de l'approche morphométrique, nous avons choisi de détailler les formules de Bottema (1997) qui ont été recommandées par Grimmond et Oke (1999) (C. S. B. Grimmond, et al., 1999) pour leur adaptabilité aux différentes morphologies urbaines.

#### Les paramètres :

- $A_p$  = surface plane.
- $A_f$  = surface frontale.
- $A_T$  = surface de l'îlot.
- $Z_H$  = hauteur moyenne des éléments rugueux.
- Indicateur de surface plane. ( $\lambda_p = A_p / A_T$ )
- Indicateur de surface frontale. ( $\lambda_f = A_f / A_T$ )



8. Figure: Définition des paramètres utilisés dans le calcul des indicateurs morphométriques. (C. S. B. Grimmond, et al., 1999)

$A_P$  = surface plane ;  $A_F$  = surface frontale ;  $A_T$  = surface de l'îlot ;  $z_H$  = hauteur moyenne des éléments rugueux. Indicateur de surface plane

#### La méthode de calcul<sup>1</sup> :

- La méthode qui utilise la hauteur et l'indicateur de surface plane ( $\lambda_P$ ) :

$$(\lambda_P = A_P / A_T)$$

$$Z_d = \left[ \frac{\sum A_{Pb} + \sum (1-p)A_{pt}}{A_T} \right]^{0.6} \bar{Z}_H$$

$$Z_0 = (\bar{Z}_H - Z_d)$$

$$X \exp \left[ - \frac{0.4}{\left( 0.5 \frac{\sum C_{db} L_{ytb} Z_{H_{ib}} + \sum C_{dt} L_{yit} Z_{H_{it}}}{A_T} \right)^{0.5}} \right] \bar{Z}_H$$

- La méthode qui utilise la hauteur et l'indicateur de surface frontale ( $\lambda_f$ ) :

$$(\lambda_f = A_F / A_T)$$

$$Z_0 = (Z_h - Z_d) \exp \left( - \frac{k}{\sqrt{0.5 C_{Dh} \lambda_f}} \right) \rightarrow Z_0 = (Z_h - Z_d) \exp \left( - \sqrt{\frac{0.4}{\lambda_f}} \right)$$

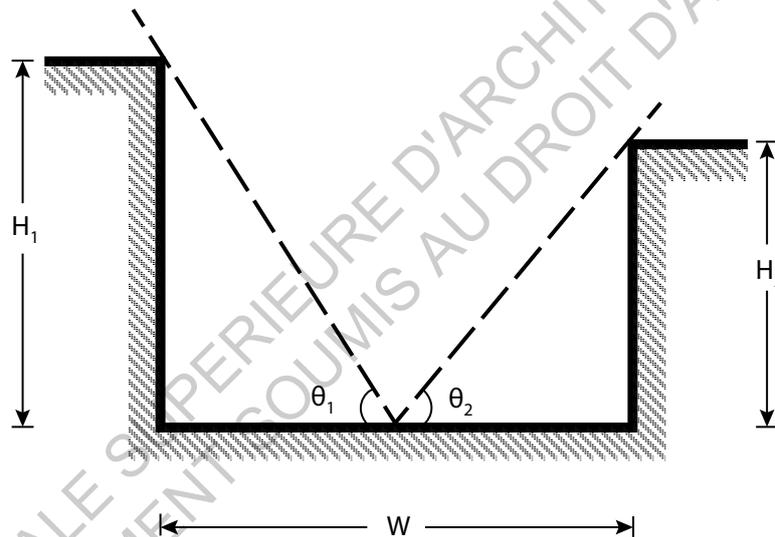
1 Nous avons détaillé les formules pour souligner qu'en matière de la qualité de l'air ce qui est important n'est pas les paramètres séparément de l'un et de l'autre (hauteur des bâtiments, espacement entre eux etc.), mais un rapport particulier entre ces paramètres.

Cette méthode est conseillée par Grimmond et Oke (1999) suite à leur étude comparative sur les différentes méthodes proposées dans la littérature pour calculer la longueur de rugosité et la hauteur de déplacement.

Cependant, cette méthode basée sur l'indice de surface frontale nécessite une démarche de calcul particulière puisque la direction du vent est rarement perpendiculaire à la surface frontale. Dans le cadre du projet LUCID<sup>1</sup> à Londres, Evans (2009) démontre comment les paramètres nécessaires pour les indicateurs de la longueur de rugosité et de la hauteur de déplacement peuvent être calculés à partir d'un modèle 3D sur SIG.

#### Le facteur de vue du ciel (FVC)

Le facteur de vue du ciel est un indicateur qui mesure l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un point de l'espace urbain (Athamena, 2012) (Colombert, 2008). C'est un indicateur sans dimensions compris entre 0 et 1. Le FVC est égal à 1 quand aucun obstacle n'empêche la vue du ciel et est égal à 0 quand la vue du ciel est totalement obstruée (Oke, 1988).



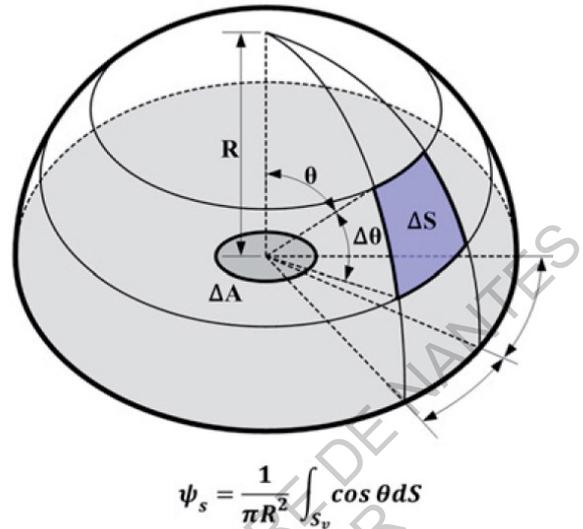
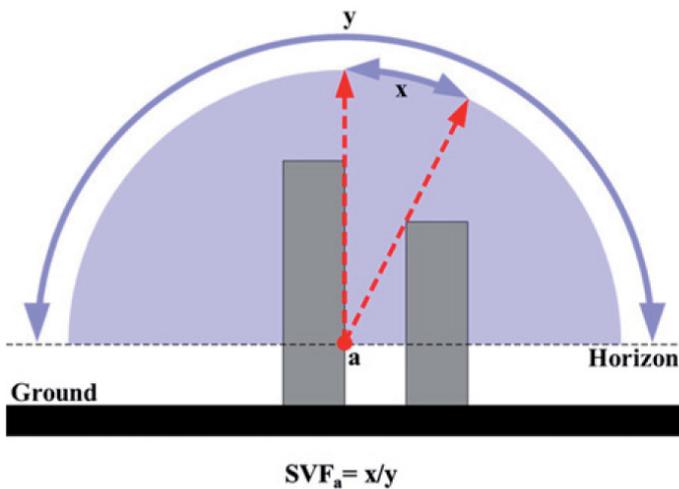
9. Figure: Angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique (Tsoka, 2011)

Dans la littérature scientifique, plusieurs études démontrent la relation directe positive entre le FVC et la ventilation en milieu urbain (Eeftens, et al., 2013) (Yim, et al., 2014) (Yang, et al., 2013). Cependant, cet indicateur est le plus souvent utilisé en climatologie urbaine (S. Grimmond, 2007). Il permet de déterminer les échanges de chaleur par rayonnement entre la surface considérée et le ciel.

Il existe deux méthodes de calcul de FVC : « géométrique » et par « cosinus pondéré » (Zhang, et al., 2012). La deuxième est généralement utilisée dans le domaine de la climatologie. Pour notre étude, nous nous intéresserons à la méthode géométrique.

---

1 Development of a Local Urban Climate Model and its Application to the Intelligent Development of Cities, University College London.



10. Figure: À gauche la définition géométrique, à droite cosinus pondéré (Zhang, et al., 2012)

Les paramètres :

- Hauteur des constructions.
- Distance entre les façades.

La méthode de calcul :

$$\Psi_{se} = \cos \left( \arctan \frac{2H}{W} \right)$$

Formule proposée par Oke (1987)(Athamena, 2008).

La porosité

À notre connaissance, il existe deux définitions de l'indicateur de porosité. L'une est basée sur le rapport vide/plein surfacique de la façade urbaine du projet, l'autre est basée sur le rapport vide/plein volumétrique du projet urbain. Toutes les deux prennent en compte la direction du vent dominant.

**La porosité surfacique :**

Il s'agit de l'évaluation du rapport entre la surface totale de la façade urbaine d'un quartier et ses percements, pondéré par l'orientation par rapport au vent dominant(Athamena, 2012).

Les paramètres :

- La surface totale de la façade urbaine la plus perpendiculaire possible au vent dominant. ( $S_T$ )
- La surface totale des percements de cette façade urbaine. ( $S_{percements}$ )
- L'angle entre le vent dominant et la façade urbaine en question. ( $\alpha$ )

La méthode de calcul(Athamena, 2012) :

$$\text{Porosité} = \frac{S_{percements}}{S_T} \times \cos \alpha$$

### La porosité volumétrique :

Il s'agit de l'évaluation du rapport entre l'ensemble des volumes du tissu urbain et les volumes ouverts. La forme de ces ouvertures et leurs orientations par rapport aux vents dominants sont également prises en compte (Tsoka, 2011).

#### Les paramètres :

- Hauteur de la canopée dans la rue considérée (moyenne des bâtiments qui la bordent). ( $h$ )
- Largeur moyenne de la rue. ( $l$ )
- Volume moyen de l'espace bâti. ( $V_j$ )
- Volume moyen de l'espace ouvert. ( $V_i$ )
- Longueur de l'espace ouvert. ( $L_i$ )
- Rayon hydraulique de l'espace ouvert. ( $r_{h,i}$ )

$$\Rightarrow r_{h,i} = \frac{hl}{h+l}$$

La méthode de calcul (Tsoka, 2011) :

$$Porosité = \frac{\sum_i \pi r_{h,i}^2 L_i}{\sum_i V_i + \sum_j V_j}$$

#### Le couloir de ventilation

Les couloirs de ventilation sont des zones ayant une valeur de rugosité assez faible permettant à la « brise de campagne » (*country breeze*) de pénétrer dans le tissu urbain (Gál, et al., 2009).

À notre connaissance, il n'existe pas d'indicateur distinct pour mesurer et identifier les couloirs de ventilation. Cependant, certains chercheurs travaillant sur la ventilation urbaine et le phénomène de l'îlot de chaleur (Suder, et al., 2013) (Wong, et al., 2010) (Gál, et al., 2009) ont déterminé les paramètres nécessaires pour les distinguer. Plusieurs études se sont basées sur ces paramètres pour identifier les couloirs de ventilation potentiels en ville (Gál, et al., 2009) (Cariolet, et al., 2015) (Hsieh, et al., 2016).

#### Les paramètres :

Ce sont les caractéristiques nécessaires d'un couloir de ventilation.

- La longueur de rugosité doit être inférieure à 0,5 m.
- Hauteur de déplacement négligeable.
- Longueur suffisamment importante dans une direction, au moins 1 000 m.
- Largeur suffisamment importante, au minimum le double de la hauteur des bâtiments bordant, pas moins de 50 m.
- La largeur des obstacles dans le couloir ne doit pas être supérieure à 10 % de la largeur du couloir.
- La hauteur de l'obstacle dans le couloir ne doit pas être supérieure à 10 m.
- Les obstacles dans le couloir doivent être orientés parallèlement à la longueur du couloir.
- Le rapport hauteur sur distance entre les obstacles dans le couloir de ventilation doit être de 0,1 pour les bâtiments et de 0,2 pour les arbres.

## L'indice de construction de Landsberg

L'indice de construction de Landsberg permet de qualifier la morphologie des rues. Il est le quotient de la hauteur du bâti par la largeur de la rue. La valeur est inférieure à 1 si la largeur de la rue est supérieure à la moyenne des hauteurs des bâtiments de la rue. Dans le cas d'une rue canyon, la valeur de l'indice est largement supérieure à 1.

Selon Maignant (2005), « l'indice de construction de Landsberg est indispensable à la compréhension des phénomènes de pollution ». En effet, deux artères de même largeur et supportant le même trafic n'auront pas la même charge polluante si les hauteurs des bâtiments les bordant sont différentes.

### Les paramètres :

- Hauteur des bâtiments.( $H$ )
- Largeur de la rue.( $L$ )

### La méthode de calcul :

- La première formule s'applique pour une section de l'artère :

$$I_c = H/L$$

- La deuxième formule permet de calculer l'indice de construction de Landsberg à plus grande échelle : (n correspond au nombre de bâtiments pris en compte)

$$I_{c(\text{valeur moyenne})} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h}{L}$$

## 3. La capacité de la forme urbaine à réduire l'exposition des populations

Il s'agit ici de limiter l'exposition des populations les plus vulnérables à la pollution atmosphérique de proximité. « La pollution de proximité » est définie comme la conjugaison de la pollution de fond et de l'impact local des sources de pollution fixes ou mobiles (généralement, ce dernier terme concerne l'impact local du trafic routier). Elle est particulièrement importante car les voisinages des sources sont « caractérisés par des niveaux de polluants plus élevés ainsi qu'une composition chimique, et donc une toxicité, différentes de la situation de fond » (Host, et al., 2012). À proximité des axes routiers, les niveaux des polluants peuvent atteindre quatre fois les niveaux de la pollution de fond (AirParif, n.d.). Hoek et al. (2002) ont observé un risque de décès cardio-pulmonaire accru de 95 % chez les populations habitant à moins de 50 m d'un axe routier.

Connaître l'évolution spatiale des concentrations autour des sources, en trois dimensions, permettra de limiter l'exposition des populations les plus sensibles (enfants, personnes âgées, etc.) à la pollution de proximité. Cela peut être possible à travers une organisation stratégique des fonctions du projet (habitations, écoles, lieux de récréation, etc.) prenant en compte ces zones impactées par la pollution de proximité.

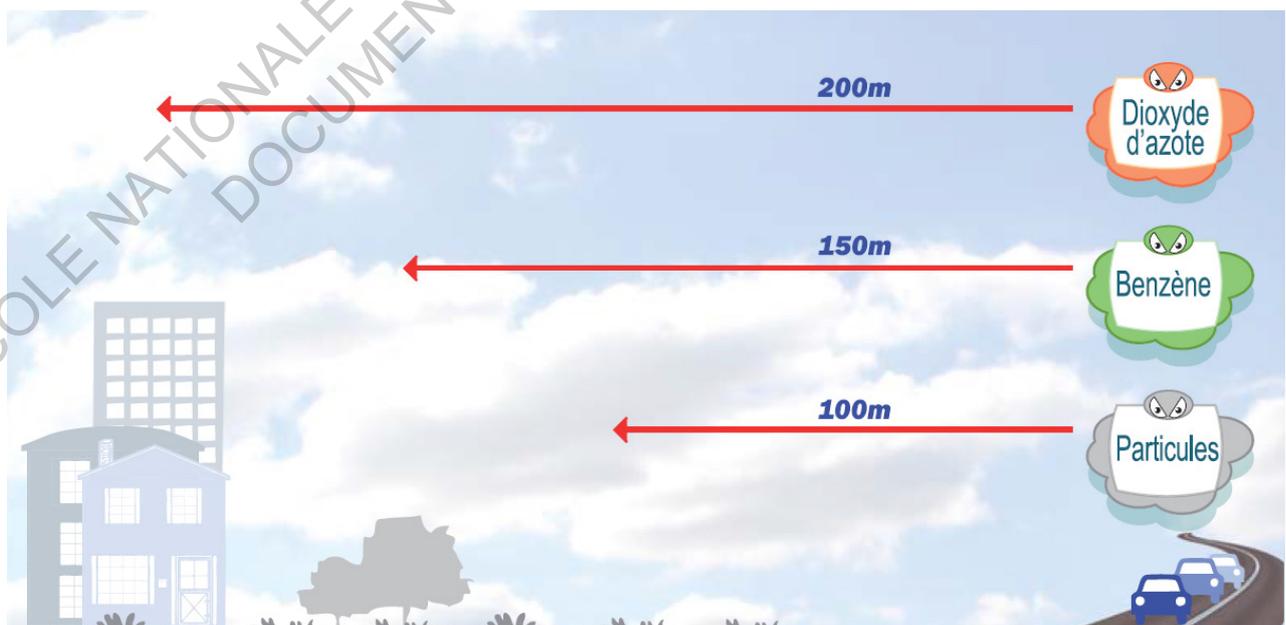
Lors de notre recherche bibliographique, nous avons remarqué que les scientifiques rencontrent des difficultés à caractériser et mesurer l'exposition des populations à la pollution de proximité. En effet, cela nécessite d'évaluer le temps que passent les citoyens dans différents microenvironnements (lieu de travail, habitat, école, etc.) et le niveau de pollution de ceux-ci ; il faut ajouter à cela l'exposition pendant les déplacements quotidiens. Pour cette raison, un grand nombre d'études ont recours à des méthodes indirectes, basées sur la distance du lieu de vie à l'axe routier, pondérée par l'intensité du trafic (Host, et al., 2012) (Cariolet, et al., 2015) (Brunekreef, et al., 1997).

À notre connaissance, il n'existe pas d'indicateurs spécifiques bien définis prenant en compte la section de l'axe routier. Parmi les études que nous avons pu consulter, nous avons choisi de présenter ci-dessous les recherches qui intègrent également une dimension verticale (diminution des concentrations aux étages supérieurs des bâtiments) (AirParif, n.d.) (Tao, et al., 2007) et le ExTra Index (Patrice Reungoat, et al., 2005) développé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

#### La distance à la source

Il s'agit de la décroissance progressive des concentrations de polluants avec l'éloignement horizontal et vertical de l'axe routier.

En ce qui concerne l'éloignement horizontal, un grand nombre d'études rapportent une décroissance très rapide des concentrations de polluants jusqu'à 50 m, puis une décroissance progressive des polluants jusqu'à 200 m (AirParif, 2012) (AirParif, n.d.) (Host, et al., 2012) (Brunekreef, et al., 1997). Cependant, ces chiffres ne font pas l'unanimité des scientifiques (Zhou, et al., 2007). Les études démontrent aussi que la distance à laquelle s'étend l'impact de l'axe routier varie selon les types de polluants ( $\text{NO}_2$  a une zone d'impact plus étendue que les particules fines) et selon l'échelle de l'axe (une route secondaire a une zone d'impact moins importante qu'un périphérique) (AirParif, 2012) (Host, et al., 2012). Certaines études pondèrent l'éloignement de l'axe avec l'intensité du trafic (P. Reungoat, et al., 2004). Dans le cas où les données du trafic ne sont pas disponibles, d'autres méthodes basées sur une classification sommaire des axes routiers ou sur la longueur des routes dans un périmètre déterminé peuvent être utilisées (Host, et al., 2012).

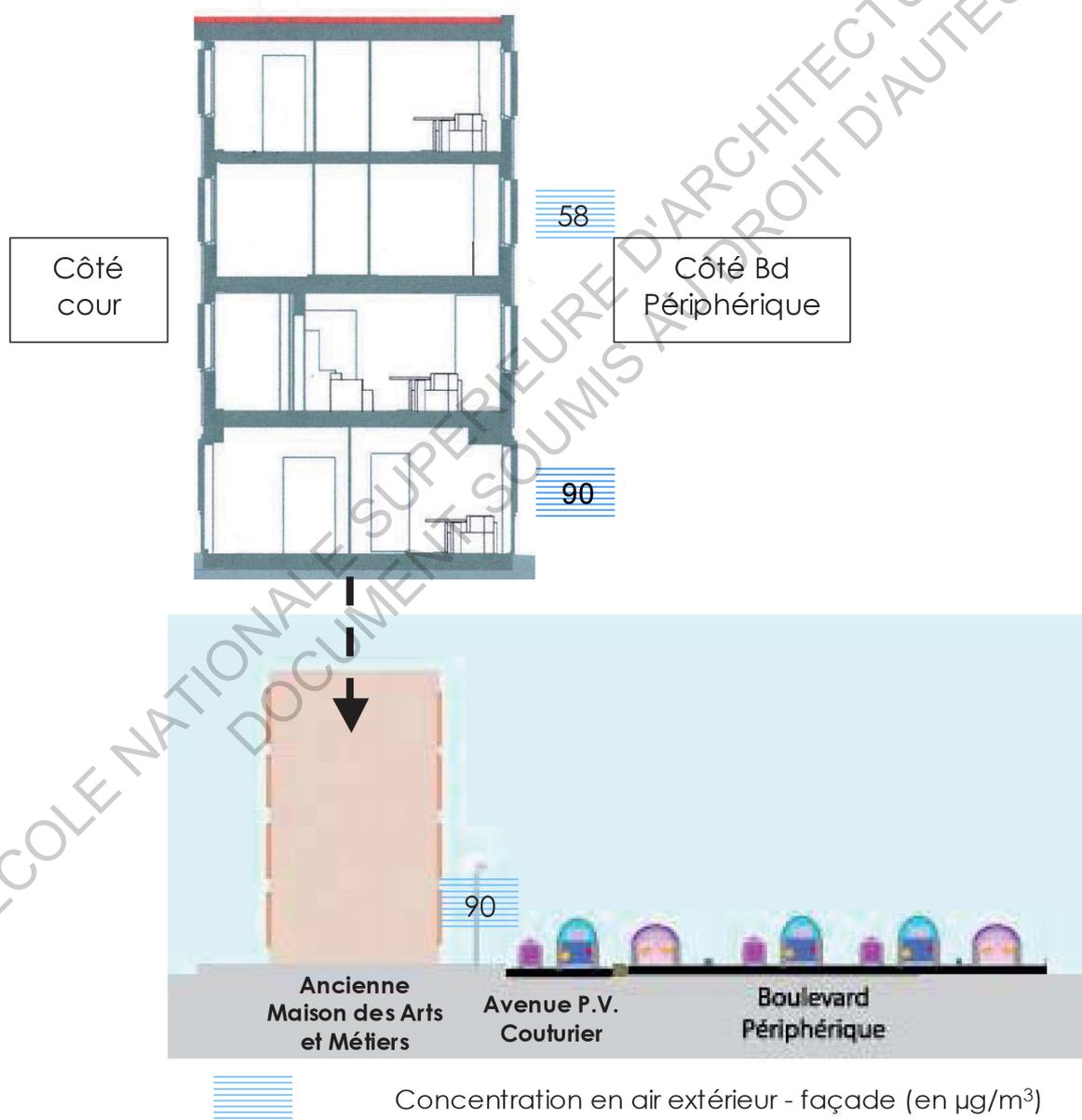


11. Figure: La décroissance des concentrations de polluants avec l'éloignement horizontal (AirParif, 2012)

En ce qui concerne l'éloignement vertical de l'axe routier, il existe très peu d'études à notre connaissance. La majorité des études consultées dans le cadre de ce mémoire mettent en place des campagnes de mesures ou des modèles de dynamique des fluides assez complexes et focalisent sur le phénomène de « street canyon » dans le contexte des villes asiatiques (Tao, et al., 2007) (Cheng, et al., 2008) (Kwak, et al., 2015). Selon les deux rapports de AirParif en 2008 et 2012 sur la qualité de l'air à proximité des voies à grande circulation, la diminution des concentrations avec la hauteur n'est significative que pour les bâtiments très proches de l'axe routier. Ils rapportent une diminution autour de 30 % des niveaux de polluants ( $\text{NO}_2$ ) à partir du deuxième étage des bâtiments bordant les routes (AirParif, 2012) (AirParif, n.d.).

Les paramètres :

- Distance de l'axe routier.
- Intensité du trafic (nombre de véhicules par jour).
- Hauteur des bâtiments bordant l'axe routier.



12. Figure: Évolution de la qualité de l'air extérieur en  $\text{NO}_2$  du bord du Boulevard Périphérique à l'intérieur des bâtiments (AirParif, 2008) p.53

## ExTra Index

L'indice ExTra a été développé par le CSTB et l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité). Il a été créé pour être utilisé dans les études épidémiologiques à grande échelle comme VESTA (Five Epidemiological Studies on Transport and Asthma) (Patrice Reungoat, et al., 2005). L'indice ExTra a été validé par une étude réalisée dans quatre villes de France comparant les mesures prises sur place et les résultats obtenus en utilisant cet index (Host, et al., 2012) (Patrice Reungoat, et al., 2003) (P. Reungoat, et al., 2004).

### Les paramètres :

- Densité du trafic.
- Hauteur des bâtiments.
- Largeur des routes.
- Largeur des trottoirs.
- Direction et force du vent dominant.

## Conclusion de la première partie

Dans cette première partie, nous avons recensé les indicateurs morphologiques liés à la qualité de l'air extérieur. Notre but n'était pas d'en faire une liste exhaustive. Nous avons pour objectif de déterminer succinctement, parmi les éléments de conception, ceux qui ont une influence sur la qualité de l'air urbain afin de pouvoir questionner, par la suite, comment les acteurs du projet urbain peuvent agir sur la problématique de la qualité de l'air urbain dès la conception du projet.

Nous avons recensé, suivant les critères propres à cette étude, 11 indicateurs classés en trois catégories :

### 1. La capacité de la forme urbaine à réduire les émissions des polluants

- La marchabilité
- La cyclabilité
- L'accessibilité des transports publics

### 2. La capacité de la forme urbaine à disperser les concentrations des polluants

- La longueur de rugosité et la hauteur de déplacement
- Le facteur de vue du ciel (FVC)
- La porosité
- Le couloir de ventilation
- L'indice de construction de Landsberg

### 3. La capacité de la forme urbaine à réduire l'exposition des populations

- La distance à la source
- L'indice ExTra

Pour chaque indicateur, nous avons détaillé les paramètres qui influencent positivement ou négativement la capacité. Nous avons aussi détaillé la méthode de calcul pour certains indicateurs afin de montrer la relation entre les paramètres.

Cette recherche bibliographique nous permet de faire certaines remarques importantes dans le cadre de notre étude.

Le premier élément que nous avons relevé est la variation d'échelle entre les paramètres. Par exemple, l'indicateur de « distance à la source » est surtout significatif à l'échelle d'une parcelle. Il permet d'évaluer l'impact de la pollution de proximité (dans un périmètre maximal de 200 mètres de part et d'autre des axes routiers). À l'inverse, les « couloirs de ventilation » ont plutôt une influence à l'échelle de la ville. Ils permettent aux « brises de campagne » de pénétrer dans le tissu urbain (la longueur du couloir de ventilation est au minimum de 1 000 mètres).

Nous avons aussi remarqué que les domaines des paramètres sont très variés. Les leviers d'actions liés à ces paramètres sont gérés par différents professionnels impliqués dans un projet. Nous pouvons donner comme exemples le paramètre de capacité des véhicules qui influence l'indicateur de « l'accessibilité aux transports publics » et la hauteur d'un bâtiment qui influence un indicateur comme « l'indice de construction de Landsberg ».

Un autre fait que nous avons constaté concerne les paramètres qui influencent plusieurs indicateurs. Cela devient particulièrement intéressant quand ces paramètres créent une contradiction. Ainsi, le même paramètre peut avoir une influence positive sur un indicateur et négative sur un autre. Par exemple, la densité est un paramètre favorable pour « la marchabilité » d'un quartier ; pourtant, elle a une influence négative sur « la porosité » du quartier.

Cette première partie du mémoire nous a permis de mettre en évidence qu'il existe plusieurs facteurs influençant la qualité de l'air extérieur lors de la phase de conception, à différentes échelles et étapes du projet urbain. Elle a aussi démontré que mettre en place une approche holistique pour la qualité de l'air extérieur est très complexe.

La deuxième partie a pour objectif de faire surgir les problèmes que nous pouvons rencontrer, dus à cette complexité, lors de processus opérationnels.

### **3) PARTIE II : Comment et quand les indicateurs peuvent-ils être pris en compte dans le processus opérationnel ?**

#### **Introduction**

Cette deuxième partie du mémoire consiste en la création d'une grille d'analyse qui met en lien les indicateurs cités précédemment et le processus opérationnel type d'un projet urbain. Nous avons pour objectif d'interroger comment une stratégie holistique face à la pollution de l'air extérieur peut être intégrée dans le processus opérationnel des projets urbains actuels.

Nous expliquerons tout d'abord les raisons pour lesquelles nous avons eu recours à une grille d'analyse. Puis nous présenterons la grille d'analyse et comment nous l'avons mise en place. Enfin, nous discuterons des principaux sujets que la grille ou les entretiens réalisés ont révélés.

## Pourquoi faire une grille d'analyse ?

Au fur et à mesure de notre recherche, nous avons pensé qu'une grille d'analyse pouvait être un outil adéquat et nous aider à avancer pour deux raisons :

La première raison réside dans la nécessité d'étudier les rapports entre les différents indicateurs listés dans la première partie du mémoire. Créer une grille d'analyse nous a permis de mettre en évidence les paramètres communs ou contradictoires entre les indicateurs.

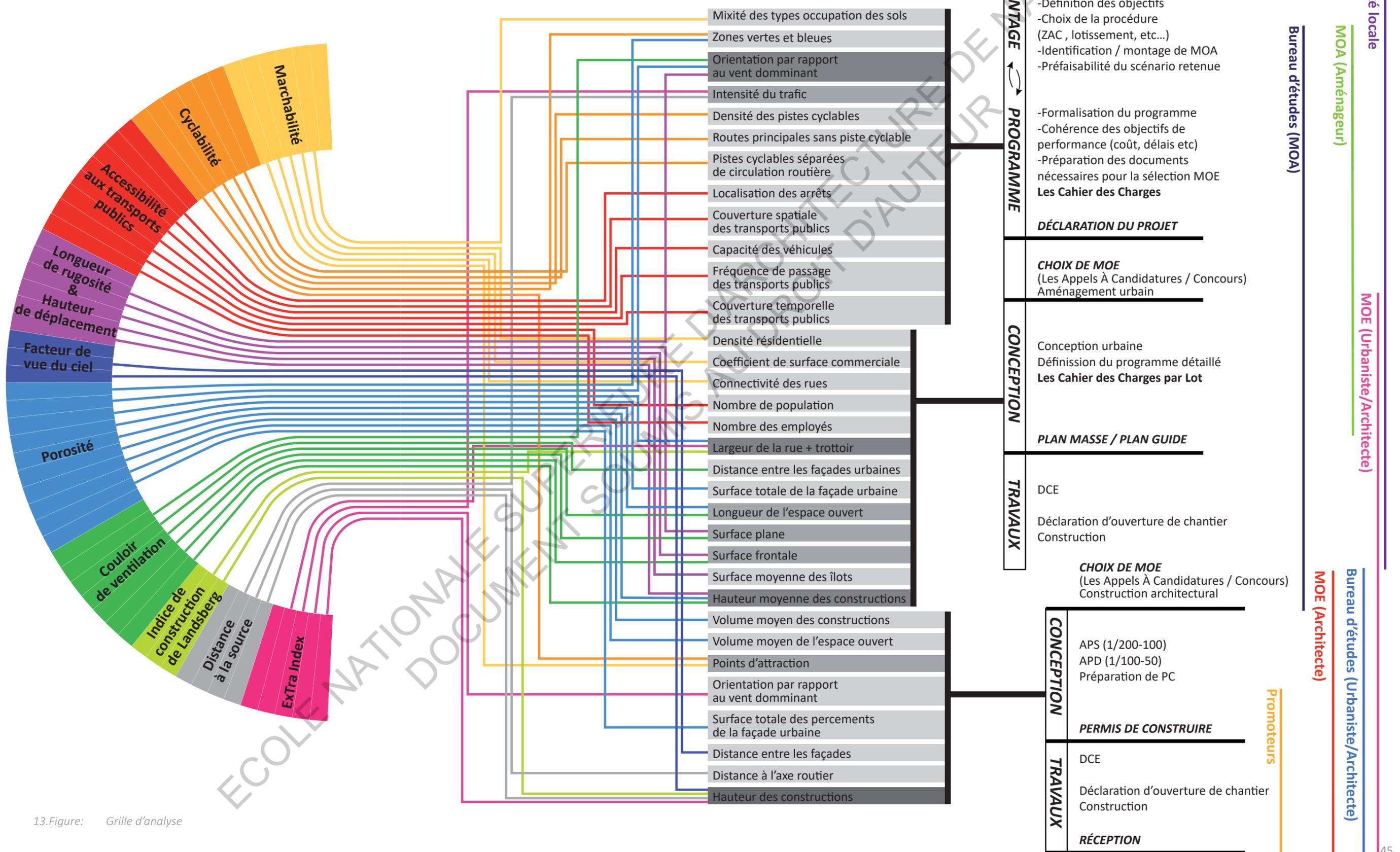
La deuxième raison, la plus importante, concerne la difficulté que nous avons rencontrée pour mettre en pratique et donc intégrer une stratégie holistique sur la qualité de l'air extérieur dans le processus opérationnel des projets urbains. Cette difficulté est due au fait que les indicateurs liés à la qualité de l'air extérieur, comme nous l'avons précisé dans la première partie, sont déterminés à différentes échelles et étapes du projet et par différents acteurs<sup>1</sup>.

Dans la grille d'analyse que nous allons présenter, nous avons constitué un modèle de processus opérationnel type sur lequel nous avons noté les moments clés du calcul des indicateurs pour chaque paramètre. Cela nous a permis de mettre en évidence les phases importantes du processus opérationnel en matière de qualité de l'air extérieur. En parallèle, cela a permis de faire surgir les problématiques que nous pourrions rencontrer durant la mise en place d'une stratégie holistique sur ce sujet.

---

<sup>1</sup> La création d'une grille peut nécessiter une simplification et une réorganisation des données et donc causer une perte d'informations. Cependant, avec sa forme synthétique, elle peut permettre de mettre en lien différents types de données et de faire surgir de nouvelles problématiques. Nous allons parler de ses implications sur notre recherche dans sa présentation.

Grille d'analyses



13.Figure: Grille d'analyse

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Indicateurs et paramètres

Les deux premières colonnes de la grille d'analyse regroupent les indicateurs et les paramètres qui sont nécessaires pour leur calcul. Au vu de notre objectif de recherche et pour pouvoir réaliser la grille d'analyse, nous avons dû réorganiser les paramètres listés dans la première partie du mémoire.

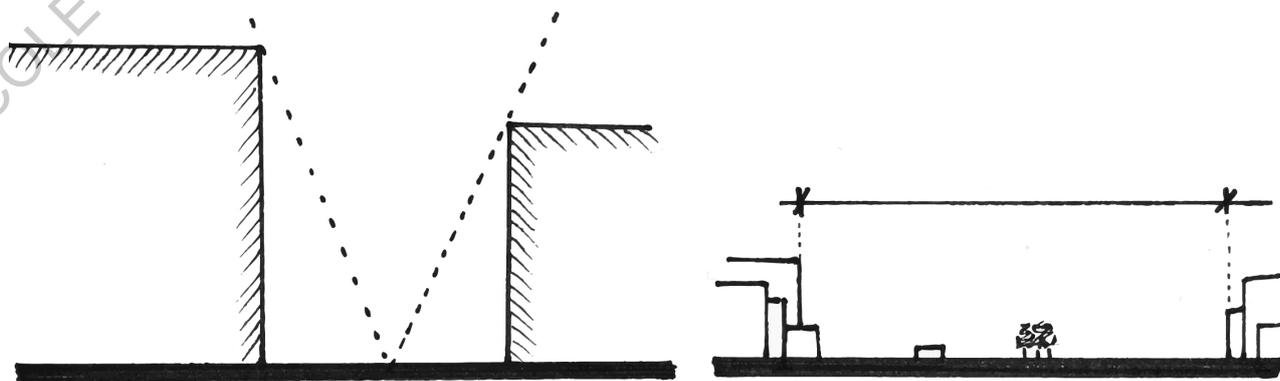
Nous résumons ces changements en quatre points :

Tout d'abord, nous avons exclu de la liste les paramètres qui ne sont pas significatifs pour notre recherche. Ce sont les paramètres exogènes, sur lesquels les concepteurs ne peuvent pas agir. Nous pouvons donner comme exemple la topographie ou la force du vent dominant. En outre, nous avons inclus un paramètre qui n'était pas cité auparavant : « la surface totale du projet ». Ce paramètre n'apparaît pas distinctement dans la première partie, mais il est pris en compte dans d'autres paramètres, tels ceux qui calculent les densités (par exemple « la densité résidentielle »).

Pour démontrer les liens entre les indicateurs au travers des paramètres, nous avons dû les détailler le plus possible. Ainsi, les deux paramètres permettant de déterminer les « couloirs de ventilation », « la longueur de rugosité » et « la hauteur de déplacement », qui sont eux-mêmes des indicateurs, ont été remplacés par leurs composants. Nous pouvons aussi mentionner le paramètre « rayon hydraulique de l'espace ouvert » (nécessaire pour l'indicateur de « porosité ») que nous avons remplacé par la hauteur et la largeur de l'espace ouvert à partir desquelles ce paramètre est calculé.

Nous avons identifié ensuite les paramètres identiques mais qui sont nommés différemment dans les articles scientifiques. Par exemple, dans le calcul de marchabilité ou de cyclabilité, certaines études utilisent « les points de destination », d'autres « les points d'attraction ». En réalité, ils ne représentent pas tout à fait la même chose. Les points de destination se réfèrent aux services dans le quartier, alors que les points d'attraction désignent plutôt des équipements publics. Cependant, dans notre étude, nous les avons considérés comme un seul paramètre car l'un inclut l'autre.

Le dernier arrangement que nous avons fait est lié à l'échelle. Certains paramètres devraient être pris en compte à l'échelle urbaine pour un indicateur et à plus petite échelle pour un autre. Considérant que, pour notre recherche, l'échelle est importante (car cela détermine notamment à quelle étape du processus opérationnel tel paramètre est fixé), nous avons compté deux fois les paramètres qui sont dans cette situation. C'est le cas du paramètre « distance entre les façades ». Pour l'indicateur « couloir de ventilation », il s'agit des façades urbaines à grande échelle. Cependant, pour l'indicateur « facteur de vue du ciel », il s'agit généralement des constructions bordant un espace urbain à une échelle beaucoup plus fine.



14. Figure: À gauche le schéma de « facteur de vue du ciel » et à droite le schéma de « le couloir de ventilation »

Après avoir effectué les réorganisations explicitées ci-dessus, nous avons classé les paramètres selon l'ordre décroissant de l'échelle et de façon à suivre le déroulement du processus opérationnel pour la suite de la grille d'analyse.

## Le processus opérationnel et les acteurs

La deuxième partie de la grille d'analyse contient le modèle de processus opérationnel type que nous avons mis en place et les acteurs du projet. Notons qu'il est difficile de parler d'un processus opérationnel type. Actuellement, les pratiques ne sont pas stabilisées (Tardieu, 2016)<sup>1</sup>, et chaque projet urbain a un processus particulier qui se déroule sur des échelles temporelles différentes. Les acteurs impliqués changent aussi d'un projet à l'autre, et parfois même au sein d'un même projet<sup>2</sup>. Le processus opérationnel que nous utilisons pour mettre en place cette grille d'analyse est donc un modèle théorique et idéalisé, que nous avons créé pour mener à bien notre étude.

L'objectif de cette grille d'analyse est de mettre en lien les indicateurs et le processus opérationnel pour questionner à quelles étapes du projet urbain nous pouvons apporter des solutions pour la qualité de l'air extérieur. La mise en place d'un modèle type de processus opérationnel simplifié et idéalisé nous a permis d'arriver à cet objectif plus rapidement.

Pour mettre en place ce modèle de processus opérationnel, nous nous sommes inspirée légèrement de deux projets urbains : Ile de Nantes<sup>3</sup> et Ivry Confluences<sup>4</sup>. Nous avons pris en considération ces deux projets pour trois raisons. Tout d'abord, il s'agit de projets sur lesquels nous avons des connaissances<sup>5</sup>. Ensuite, l'échelle des deux projets (celle d'un « projet urbain complexe »(Arab, 2004)) correspond à notre recherche. Enfin, et c'est le plus important, tous les deux ont une sensibilité sur la qualité des espaces urbains. Ils ont un « plan guide » et visent à coordonner les différentes échelles de réalisation. Par la suite, les entretiens que nous avons réalisés nous ont permis de rectifier et compléter ce modèle et d'en souligner les limites.

Ce travail nous a permis d'identifier plusieurs facteurs susceptibles d'influencer la prise en compte de la problématique de la qualité de l'air extérieur lors de la réalisation des projets urbains. Nous les avons résumés en six points :

**1. Les deux étapes du modèle de processus opérationnel type.** Nous avons organisé le modèle de processus en deux étapes. La première étape est liée au projet urbain et se compose du programme, du plan guide (ou du plan masse), de la phase de construction pour la viabilisation et l'aménagement du site du projet, etc. Nous pouvons donner comme exemple la première phase du projet de l'Ile de Nantes : la mise en place d'un plan guide réalisé par Alexandre Chemetoff (Chemetoff, et al., 1999). La deuxième étape concerne le « projet d'édifice »(Arab, 2004) à plus petite échelle et se compose de la conception, du permis de construire, de la phase de chantier, etc. Les pratiques relatives à ces projets d'édifice sont plus standardisées que celles à l'échelle urbaine. L'exemple que nous pouvons donner est la réalisation de l'école des beaux-arts par Franklin Azzi Architecture<sup>6</sup> dans le cadre du projet de l'Ile de Nantes.

---

1 Entretien avec Charlotte Tardieu. Voir l'annexe 6.

2 *Ibid.*

3 <http://www.iledenantes.com/fr/>

4 <http://www.ivryconfluences.fr/>

5 Nous sommes familière avec le projet de l'Ile de Nantes car l'École d'architecture de Nantes, où ce mémoire sera soutenu, se trouve sur l'île de Nantes et fait partie du projet. En ce qui concerne le projet d'Ivry Confluences, nous avons eu l'occasion de l'observer lors du stage de recherche réalisé à l'EIVP.

6 <http://www.franklinazzi.fr/en/projects/alstom-warehouses-higher-school-of-fine-arts>

Cette rupture dans le modèle de processus opérationnel type est significative pour notre recherche pour deux raisons. Tout d'abord, les projets qui suivent des processus similaires (ceux qui ont une première phase de conception urbaine et un plan guide (ou plan masse) comme l'île de Nantes, Ivry Confluences, etc.) ont la possibilité de développer une stratégie globale sur l'espace public. Ils permettent de coordonner les différents projets d'édifice et de mutualiser les sources et les services (comme les parkings, les réseaux, les espaces communs, etc.)<sup>1</sup>. Cela est particulièrement important pour la qualité de l'air extérieur. En effet, comme nous l'avons précisé dans la première partie du mémoire, limiter les problèmes liés à la pollution de l'air extérieur nécessite une approche holistique qui se décline sur plusieurs échelles.

Ensuite, cette organisation du modèle de processus opérationnel crée deux moments de conception où le programme prend une forme spatiale et deux moments de chantier, de réalisation du projet. L'une de ces étapes comprend la conception du plan guide et les constructions pour la viabilisation (voiries, égouts, réseaux, etc.) ; l'autre étape comprend la conception et la construction des édifices, à l'échelle des îlots souvent déterminés par le plan guide. Ces deux étapes déterminantes deviennent intéressantes pour notre recherche. En effet, certains indicateurs liés à la qualité de l'air extérieur ont des paramètres à deux échelles. Cela signifie que les paramètres d'un même indicateur seront fixés à deux moments différents du projet par différents acteurs. (Voir 15.Figure à la page suivante.)

**2. L'ambiguïté du commencement du projet urbain.** Au début du projet urbain, les acteurs et la procédure à suivre (zone d'aménagement concerté (ZAC), lotissement, etc.) varient beaucoup d'un projet à l'autre. En outre, les étapes de montage et de programmation s'interfèrent souvent et il existe de nombreux allers-retours (Ducourtieux, 2016)<sup>2</sup>. À cette étape, la propriété foncière devient un critère déterminant. Cela peut être un investisseur immobilier privé qui achète le terrain et monte son projet. Ce processus peut également être entièrement public ou bien géré par une société d'économie mixte (SEM). Lors de l'établissement du programme, la sensibilité et la volonté de ces acteurs au niveau des problématiques environnementales sont très importantes. Feront-ils appel à un assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) ? Intégreront-ils des objectifs environnementaux dans le programme ? Si c'est le cas, comment vont-ils les formuler dans les cahiers des charges ? Toutes ces questions sont essentielles pour la qualité environnementale finale du projet, y compris son influence sur la qualité de l'air extérieur.

**3. Les moments décisifs.** Lors du processus opérationnel, nous discernons plusieurs étapes de validation du projet : la déclaration du projet, la concertation, le permis de construire, etc. Ce sont peut-être les seuls éléments invariables d'un projet à l'autre. Ces étapes permettent en théorie aux pouvoirs locaux d'imposer indirectement leurs objectifs urbanistiques, même si l'aménageur est une entreprise privée<sup>3</sup>. Elles peuvent donner l'opportunité d'assurer la prise en compte des aspects environnementaux (y compris la qualité de l'air) dans le projet.

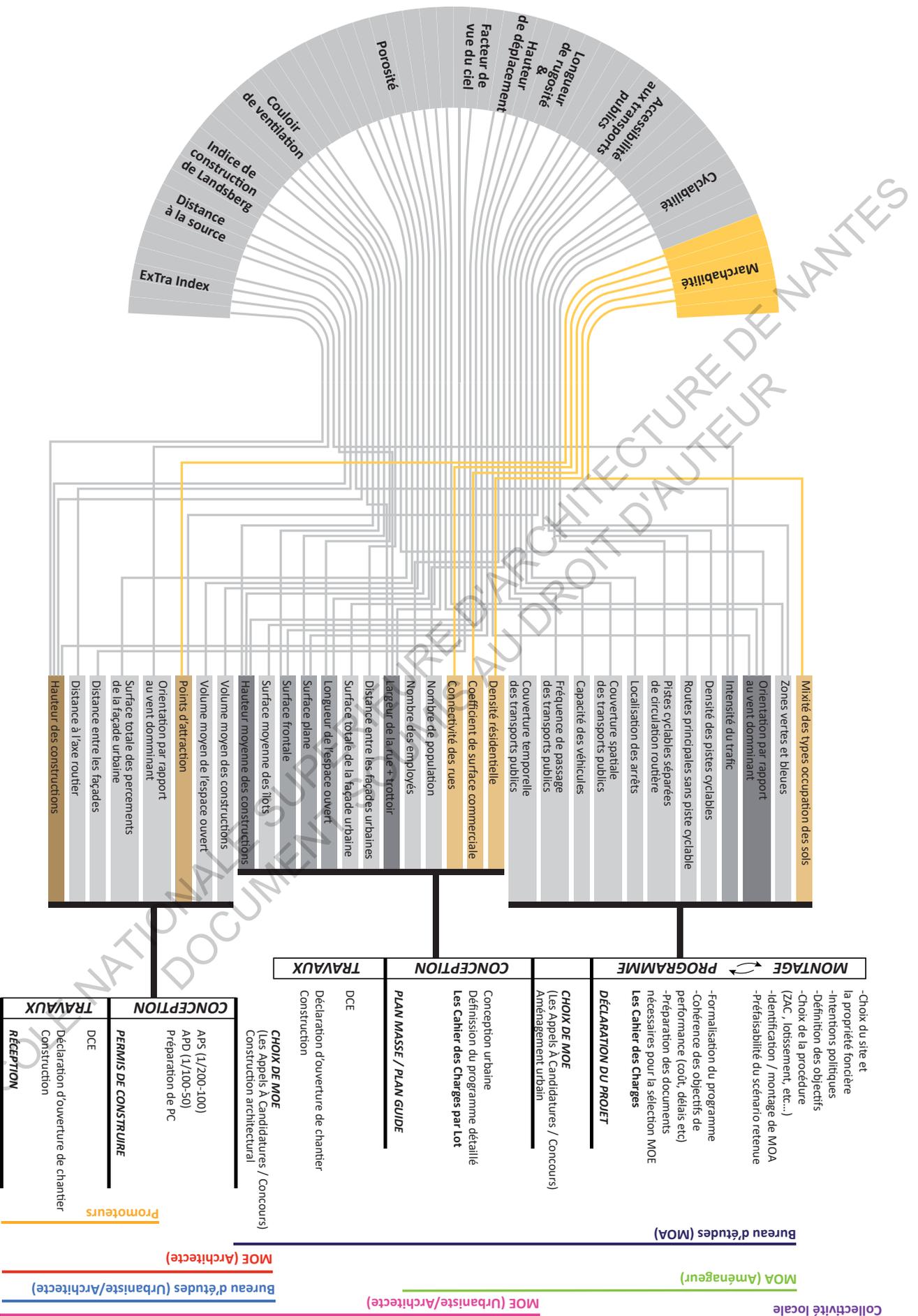
**4. Le contenu et la forme des cahiers des charges.** Pendant le processus opérationnel, fixer des objectifs environnementaux dans le cahier des charges joue un rôle important. Cependant, la manière dont ces objectifs sont fixés et la forme sous laquelle ils sont exprimés sont également déterminantes pour leur efficacité. En effet, avoir des objectifs chiffrés très contraignants peut limiter la marge de manœuvre des concepteurs, et donc l'innovation<sup>4</sup>. La participation des différents acteurs dans la détermination des objectifs environnementaux et la mise en place d'une méthode plus évolutive peuvent apporter des solutions plus efficaces.

1 Entretien avec Laurent Ducourtieux. Voir l'annexe 8.

2 *Ibid.*

3 *Ibid.*

4 Entretien avec Charlotte Tardieu. Voir l'annexe 6.



15.Figure: L'extrait de la grille d'analyse - Marchabilité

**5. L'initiative des acteurs.** Toutes les personnes interviewées (Charlotte Tardieu, Gérard Thibaut et Laurent Ducourtieux) ont mentionné que la prise en compte des problématiques environnementales dans le projet urbain repose sur les initiatives des acteurs. Selon Charlotte Tardieu, cela est dû au fait que ces objectifs sont nouveaux et que nous sommes dans une période où nous faisons évoluer les pratiques. « Cela se fait petit à petit et passe par l'individu pour changer les pratiques » (Tardieu, 2016)<sup>1</sup>. La sensibilisation et les connaissances des acteurs en matière de qualité de l'air extérieur sont donc très importantes pour lutter contre les risques liés à la pollution de l'air.

**6. L'acteur central, l'architecte-urbaniste.** Lors de la mise en place de ce modèle de processus opérationnel type, nous avons remarqué que, bien souvent, l'acteur qui demeure est l'architecte-urbaniste. L'un des meilleurs moyens de s'assurer de la prise en compte de la qualité de l'air extérieur dans un projet, c'est de vérifier que l'architecte-urbaniste est sensible et compétent sur ce sujet ou bien accompagné par une assistance à la maîtrise d'œuvre (AMO).

Tous ces facteurs qui influencent l'intégration de la problématique de la qualité de l'air dans la réalisation des projets urbains ont été révélés au cours de ce travail de mise en place d'un modèle de processus opérationnel type. Ils complètent notre étude.

## Conclusion de la deuxième partie

Dans cette partie, nous avons eu recours à une grille d'analyse mettant en lien les indicateurs avec un modèle de processus opérationnel type d'un projet urbain. Notre but était de présenter synthétiquement à quelles étapes du processus opérationnel et par quels acteurs du projet les indicateurs sur la qualité de l'air extérieur sont déterminés.

Tout d'abord, nous avons expliqué les raisons pour lesquelles nous avons eu recours à une grille d'analyse. Ensuite, nous avons développé la mise en œuvre de cette grille en deux parties. En première partie, nous avons réorganisé les paramètres et créé la première partie de la grille sondant les liens entre eux. Par exemple, dans l'extrait de la grille d'analyse à la page nous pouvons constater que les indicateurs « longueur de rugosité » et « ExTra Index », qui ont des échelles différentes, ont des paramètres communs.

En deuxième partie, nous avons expliqué pourquoi nous avons eu besoin de mettre en place un modèle de processus opérationnel type et comment nous l'avons créé. Ce travail nous a permis de faire surgir d'autres facteurs liés aux pratiques actuelles qui ont une influence sur la prise en compte de la qualité de l'air extérieur dans les projets urbains. Nous en avons mentionné brièvement quelques exemples.

Au final, quand nous avons évalué la grille d'analyse entière avec ses deux parties (les indicateurs et le processus opérationnel type) mises en lien, nous en avons tiré deux conclusions importantes.

Premièrement, malgré le manque de détails du modèle de processus opérationnel type (dû au fait qu'il est éloigné de la réalité), la grille d'analyse réussit à illustrer la complexité d'agir sur la problématique de la qualité de l'air extérieur. Ci-dessous, l'extrait de la grille concernant uniquement l'indicateur de marchabilité (qui permet de diminuer indirectement les émissions des polluants en limitant le trafic

---

1 *Ibid.*

routier) démontre bien que, pour augmenter la marchabilité du quartier, il faut prendre des mesures à différentes échelles du projet urbain. Le développement d'une approche holistique nécessite donc une coopération forte entre les différents acteurs et étapes du projet urbain.

La seconde conclusion est liée à notre méthode à travers les indicateurs morphologiques. Notre but était de déterminer quels sont les facteurs liés à la qualité de l'air extérieur sur lesquels les concepteurs peuvent agir. Nous voulions également déterminer quels sont les moments clés du processus opérationnel où il faut agir, cela afin de permettre aux acteurs du projet urbain de faire des choix plus avertis en matière de qualité de l'air. Pour ce faire, nous nous sommes servis des paramètres des indicateurs listés dans la première partie du mémoire. Naturellement, la grille montre que ces moments clés sont majoritairement concentrés dans les étapes de conception et de réalisation. Cependant, lors de notre travail de constitution d'un modèle de processus opérationnel type, nous avons remarqué qu'il peut exister d'autres facteurs (non morphologiques) qui ont une influence sur les décisions des concepteurs et qui surgissent plutôt aux étapes de montage et de programmation. Il en est ainsi pour le contenu et la forme des cahiers des charges. Comme nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, les concepteurs doivent arbitrer entre différents objectifs relatifs à la qualité environnementale, car même au sein d'un seul objectif, il peut exister des facteurs contradictoires. C'est le cas pour la porosité qui peut avoir à la fois une influence positive (sur la marchabilité du quartier) et négative (sur la dispersion des polluants). En revanche, des objectifs chiffrés très contraignants imposés dans le cahier des charges, tout en pouvant garantir l'atteinte des objectifs, peuvent aussi limiter la marge de manœuvre des concepteurs pour produire des solutions mieux adaptées.

Cette grille d'analyse nous a permis d'avoir une première vue sur la complexité d'intégrer la problématique de la qualité de l'air extérieur dans le processus opérationnel d'un projet urbain et de faire ressortir d'autres facteurs qu'il faut prendre en considération. Cependant elle est encore loin d'être un outil opérationnel au service des différents acteurs du projet. Pour cela elle a besoin d'être améliorée et adaptée aux véritables processus opérationnels des projets urbains en cours.

#### 4) Conclusion générale

Aujourd'hui, la pollution de l'air extérieur est considérée comme la première cause environnementale de mortalité prématurée (European Commission, n.d.). Elle est un risque sanitaire à l'échelle mondiale et touche surtout les grandes villes. Il y a une nécessité urgente à adopter une approche holistique de la lutte contre la pollution au-delà des mesures restrictives prises lors des pics de pollution. Il faut adapter les tissus urbains à ce risque.

Pourtant, les architectes et les urbanistes sont souvent démunis sur ce sujet. Comparée aux autres facteurs de la qualité environnementale, la qualité de l'air extérieur est rarement considérée lors de l'élaboration des projets urbains et architecturaux.

L'objectif de ce mémoire était d'interroger « Comment la question de la qualité de l'air extérieur peut-elle être prise en compte lors de la conception d'un projet urbain ? »

Premièrement, nous avons eu besoin d'identifier les facteurs liés à la qualité de l'air extérieur et qui sont contrôlés par des concepteurs lors de la phase de conception. Pour ce faire, nous nous sommes référée à des indicateurs urbains. Grâce à une recherche bibliographique, nous avons recensé les indicateurs morphologiques liés à la qualité de l'air extérieur. Nous avons suivi la méthode proposée par Cariolet et al. (2015) et organisé le recensement des indicateurs en trois groupes selon les trois capacités que la morphologie urbaine doit posséder. Nous avons retenu au total 11 indicateurs :

### 1. La capacité de la forme urbaine à réduire les émissions des polluants

- La marchabilité
- La cyclabilité
- L'accessibilité aux transports publics

### 2. La capacité de la forme urbaine à disperser les concentrations des polluants

- La longueur de rugosité et la hauteur de déplacement
- Le facteur de vue du ciel (FVC)
- La porosité
- Le couloir de ventilation
- L'indice de construction de Landsberg

### 3. La capacité de la forme urbaine à réduire l'exposition des populations

- La distance à la source
- L'indice ExTra

Notre travail de recensement a présenté certaines limites que nous indiquerons au fur et à mesure.

Tout d'abord, dans le premier groupe – capacité de la forme urbaine à réduire les émissions des polluants –, nous nous sommes focalisée seulement sur le trafic routier qui représente la plus importante source de pollution atmosphérique urbaine. Cependant, il existe d'autres sources, comme le chauffage domestique, dont les effets peuvent être limités par les concepteurs. Par exemple, la décision d'installation d'un réseau de chaleur peut réduire les émissions (Pôle réseaux de chaleur - Cerema, n.d.).

Un autre facteur que nous n'avons pas inclus dans cette partie concerne les nouveaux matériaux de construction destinés à absorber la pollution. Nous pouvons citer comme exemple le revêtement de la façade de l'hôpital Manuel Gea Gonzalez au Mexique qui filtre la pollution de l'air extérieur ("Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital Has an Ornate Double Skin that Filters Air Pollution," n.d.) ("A Building Designed to Eat Smog," 2013). Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas encore de recherches scientifiques analysant leur efficacité à grande échelle.

Dans le deuxième groupe, nous nous sommes concentrée sur la capacité de la forme urbaine à disperser les concentrations des polluants. Nous pourrions également parler de la capacité à retenir la pollution à travers des constructions spéciales. La couverture des voies routières apporte notamment d'importantes améliorations ponctuelles. Mais elle continue de contribuer à la pollution de fond et provoque une concentration de la pollution à la sortie des tunnels.

Un domaine que nous n'avons pas couvert dans notre recherche bibliographique est celui de l'environnement sonore urbain. Il nous semble que les études sur la propagation des sons dans le milieu urbain peuvent également bénéficier des études sur la dispersion des polluants atmosphériques.

Pour le dernier groupe – capacité de la forme urbaine à réduire l'exposition des populations –, il nous a été difficile de trouver des indicateurs. En effet, l'organisation de la vie quotidienne des citoyens et l'organisation spatiale du programme réalisé par l'architecte sont des facteurs importants et difficilement représentables par des indicateurs. Cela illustre les limites dues à notre méthode basée sur des indicateurs et que nous avons mentionnées en début de première partie.

La végétation urbaine est un autre sujet que nous n'avons pas pu aborder dans la première partie du mémoire. Il existe de nombreuses recherches sur les effets de la végétation urbaine sur la qualité de l'air extérieur, pourtant, par manque de temps, nous n'avons pas pu élargir notre recherche dans ce domaine.

Malgré ces limites, la première partie de ce mémoire s'est révélée très utile pour montrer la réelle complexité à développer une approche holistique face à la pollution de l'air extérieur. Le travail de recensement a relevé que les échelles des paramètres des facteurs influençant la qualité de l'air extérieur sont très variées. En outre, nous avons constaté une interaction entre les indicateurs à travers leurs paramètres qui pourront être communs ou contradictoires. Cela rend impossible de proposer une recette pour assurer l'atteinte des objectifs en matière de qualité de l'air extérieur. Le rôle des concepteurs devient alors encore plus important en les contraignant à arbitrer entre différents facteurs.

La deuxième partie du mémoire avait pour objectif de confronter les indicateurs que nous avons recensés avec le processus opérationnel d'un projet urbain, afin d'identifier les étapes essentielles lors de la réalisation d'un projet urbain et de faire surgir les problématiques que nous pouvons rencontrer dans les pratiques actuelles.

Pour ce faire, nous avons eu recours à une grille d'analyse. Cette grille d'analyse accomplit deux actions. Tout d'abord, elle visualise les résultats de la première partie en montrant les liens entre les indicateurs au travers des paramètres. Puis toujours au travers des paramètres, elle met en lien ces indicateurs avec le processus opérationnel type.

Pour réaliser cette grille d'analyse, nous avons dû mettre en place un modèle théorique et idéalisé de processus opérationnel type. Ce modèle type a engendré quelques limites dans notre travail. Sa forme inévitablement simplifiée face à la complexité des pratiques actuelles très variées ne nous a pas permis d'effectuer une analyse très détaillée. Par conséquent le tableau n'est pas assez développé pour être opérationnel et guider les acteurs. Cependant, le processus de mise en place de ce modèle a été très bénéfique pour notre recherche. Il nous a permis de détecter d'autres facteurs (non morphologiques) liés aux pratiques opérationnelles actuelles qui ont une influence sur l'intégration de la problématique de la qualité de l'air dans le projet urbain.

La grille d'analyse, malgré ses limites, a réussi à montrer assez synthétiquement l'organisation complexe des facteurs liés à la qualité de l'air et la répercussion de cette complexité sur le processus opérationnel.

Pour aller plus loin, notre travail nécessite d'être élargi. Une recherche plus étendue d'indicateurs, voire la mise en place d'autres indicateurs propres à la problématique de la qualité de l'air permettraient de déterminer de façon plus approfondie les moyens d'agir pour la qualité de l'air. Mais nous pensons que le plus intéressant et prometteur pour relever d'autres pistes serait d'appliquer la grille d'analyse à des cas de processus opérationnel de projets urbains complexes actuellement en construction. Cela permettrait de développer et détailler la grille d'analyse. Ainsi elle pourrait servir comme un véritable outil opérationnel pour guider les différents acteurs du projet urbain à agir sur la qualité de l'air extérieur.

La qualité de l'air n'est sans doute pas la plus importante parmi les nombreuses préoccupations des concepteurs. Cependant, elle doit être considérée au même titre que les autres facteurs environnementaux dans les décisions des concepteurs lors de la réalisation d'un projet urbain ou architectural. Nous espérons que notre travail permettra de mieux connaître les facteurs influençant la qualité de l'air extérieur et contribue à la production de solutions de lutte contre le risque sanitaire qui s'aggrave dans les grandes villes.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Bibliographie

- A Building Designed to Eat Smog. (2013, May 2). Bloomberg.com. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2013-04-26/a-building-designed-to-eat-smog>
- ADEME. (1998). Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière: paramètres déterminants et méthode de quantification. Paris, France: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie . Direction de l'air et des transports.
- ADEME. (2013). Réussir la planification et l'aménagement durables: Guide méthodologique. Paris: Le Moniteur. Retrieved from <http://www.ademe.fr/reussir-planification-lamenagement-durables-ambiances-urbaines-cahiers-techniques-l-aeu2>
- ADEME. (2014, September). Réussir la planification et l'aménagement durables. Ambiances urbaines : Les ... Retrieved from <http://www.ademe.fr/reussir-planification-lamenagement-durables-ambiances-urbaines-cahiers-techniques-l-aeu2>
- ADEME. (2015a, Mai). La pollution de l'air extérieur : Comprendre et améliorer la qualité de l'air. Retrieved from <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-pollution-air-exterieur.pdf>
- ADEME. (2015b, Juin). Urbanisme et qualité de l'air : des territoires qui respirent. ADEME. Retrieved from <http://www.ademe.fr/urbanisme-qualite-lair-territoires-respirent>
- ADEME. (n.d.). AEU2 : Approche Environnementale de l'Urbanisme 2 (AEU2). Retrieved from [http://www.arcad-ca.fr/documents/20150806\\_qu%20est%20ce%20que%20l%20AEU2\\_V3.pdf](http://www.arcad-ca.fr/documents/20150806_qu%20est%20ce%20que%20l%20AEU2_V3.pdf)

ADEQUA : AMENAGEMENT DURABLE D'UN QUARTIER ELABORATION D'UNE METHODOLOGIE D'AIDE A LA DECISION LORS DE LA REALISATION OU DE LA REHABILITATION D'UN QUARTIER RESIDENTIEL Rapport final du CERMA. (n.d.). Retrieved from [https://www.academia.edu/23648657/ADEQUA\\_AMENAGEMENT\\_DURABLE\\_D\\_UN\\_QUARTIER\\_ELABORATION\\_D\\_UNE\\_METHODOLOGIE\\_D\\_AIDE\\_A\\_LA\\_DECISION\\_LORS\\_DE\\_LA\\_REALISATION\\_OU\\_DE\\_LA\\_REHABILITATION\\_D\\_UN\\_QUARTIER\\_RESIDENTIEL\\_Rapport\\_final\\_du\\_CERMA](https://www.academia.edu/23648657/ADEQUA_AMENAGEMENT_DURABLE_D_UN_QUARTIER_ELABORATION_D_UNE_METHODOLOGIE_D_AIDE_A_LA_DECISION_LORS_DE_LA_REALISATION_OU_DE_LA_REHABILITATION_D_UN_QUARTIER_RESIDENTIEL_Rapport_final_du_CERMA)

Agence européenne pour l'environnement, E. (n.d.). Pollution atmosphérique [Document]. Retrieved December 10, 2016, from <http://www.eea.europa.eu/fr/themes/air/intro>

Ahmad, K., Khare, M., & Chaudhry, K. K. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections—a review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(9), 697–717.

Air PACA. (n.d.). Retrieved July 7, 2016, from <http://www.airpaca.org/>

AirParif. (2008). Caractérisation de la qualité de l'air à proximité des voies à grande circulation. Retrieved January 5, 2017, from <http://docplayer.fr/23286545-Characterisation-de-la-qualite-de-l-air-a-proximite-des-voies-a-grande-circulation.html>

AirParif. (2012, December). La pollution près du trafic. *AIRPARIF Actualité*, (39), 8.

Airparif. (n.d.). Les différents polluants et leur évolution. Retrieved December 11, 2016, from <http://www.airparif.asso.fr/pollution/differents-polluants>

Al Mamun, M., & Lownes, N. (2011). A Composite Index of Public Transit Accessibility. *Journal of Public Transportation*, 14(2).

Arab, N. (2004, December 3). L'activité de projet dans l'aménagement urbain : processus d'élaboration et modes de pilotage (phdthesis). Ecole des Ponts ParisTech. Retrieved from <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00086535/document>

Athamena, K. (2008). Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain à l'îlot de chaleur (Mémoire Master STEU). Nantes: ECN, ENSAN. Retrieved from <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00469805/document>

Athamena, K. (2012, October 11). Modélisation et simulation des microclimats urbains : Étude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers (phdthesis). Ecole Centrale de Nantes (ECN) (ECN) (ECN) (ECN). Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00811583/document>

Bottema, M. (1997). Urban roughness modelling in relation to pollutant dispersion. *Atmospheric Environment*, 31(18), 3059–3075.

Bottema, M., & Mestayer, P. G. (1998). Urban roughness mapping – validation techniques and some first results. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74–76, 163–173.

Brunekreef, B., Beelen, R., Hoek, G., Schouten, L., Bausch-Goldbohm, S., Fischer, P., ... van den Brandt, P. (2009). Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study. *Research Report (Health Effects Institute)*, (139), 5-71-89.

Brunekreef, B., Janssen, N. A., de Hartog, J., Harssema, H., Knape, M., & van Vliet, P. (1997). Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 8(3), 298–303.

Cariolet, J.-M., Colombert, M., & Vuillet, M. (2015). Assessing urban planning resilience to outdoor air pollution in Greater Paris. In 31th International PLEA Conference ARCHITECTURE IN (R)EVOLUTION. Bologna, Italy. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01198679>

Centre international de Recherche sur le Cancer, C. (2013). La pollution atmosphérique une des premières causes environnementales de décès par cancer. Retrieved from [http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221\\_F.pdf](http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_F.pdf)

Chemetoff, A., & Berthomieu, J.-L. (1999). L'île de Nantes: le plan, guide en projet. Éditions MeMo.

- Cheng, W. C., Liu, C.-H., & Leung, D. Y. C. (2008). Computational formulation for the evaluation of street canyon ventilation and pollutant removal performance. *Atmospheric Environment*, 42(40), 9041–9051.
- Clifton, K. J., Livi Smith, A. D., & Rodriguez, D. (2007). The development and testing of an audit for the pedestrian environment. *Landscape and Urban Planning*, 80(1–2), 95–110.
- Colombert, M. (2008, December 8). Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville (phdthesis). Université Paris-Est. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/document>
- Comment Paris lutte contre la pollution de l'air. (n.d.). Retrieved December 10, 2016, from <http://www.paris.fr/actualites/paris-lutte-contre-la-pollution-de-l-air-4308>
- Craig, C. L., Brownson, R. C., Cragg, S. E., & Dunn, A. L. (2002). Exploring the effect of the environment on physical activity. *American Journal of Preventive Medicine*, 23(2), 36–43.
- Crane, R. (1996). On Form versus Function: Will the New Urbanism Reduce Traffic, or Increase It? *Journal of Planning Education and Research*, 15(2), 117–126.
- Cuthbert, A. R. (2003). *Designing Cities: Critical Readings in Urban Design*. Malden, MA: Wiley-Blackwell.
- Cycling in Cities: Studying cycling motivators, bikeability, and injury risk factors. (n.d.). Retrieved June 16, 2016, from <http://cyclingincities.spph.ubc.ca/>
- de Graaf, K. A., Liang, P., Tang, A., & van Vliet, H. (2016). How organisation of architecture documentation affects architectural knowledge retrieval. *Science of Computer Programming*, 121, 75–99.
- Devisme, L. (2007, December). Gouverner par les instruments. Première approche : les épreuves urbanistiques du plan-guide. POPSU (La Plate-Forme D'observation Des Projets et Stratégies Urbaines). Retrieved from <http://www.popsu.archi.fr/sites/default/files/nodes/document/830/files/les-instruments-plan-guide.pdf>
- Duché, S. (2013, June 26). La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques (phdthesis). Université Paris-Diderot - Paris VII. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00840818/document>
- Ducourtieux, L. (2016, February 9). Entretien.
- Dulal, H. B., Brodnig, G., & Onoriose, C. G. (2011). Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: A review. *Habitat International*, 35(3), 494–500.
- Duncan, D. T., Aldstadt, J., Whalen, J., Melly, S. J., & Gortmaker, S. L. (2011). Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(11), 4160–4179.
- Eeftens, M., Brunekreef, B., Beekhuizen, J., Beelen, R., Wang, M., Vermeulen, R., ... Hoek, G. (2013). Quantifying urban street configuration for improvements in air pollution models. *Atmospheric Environment*, 72, 1–9.
- Emery, J., Crump, C., & Bors, P. (2003). Reliability and validity of two instruments designed to assess the walking and bicycling suitability of sidewalks and roads. *American Journal of Health Promotion: AJHP*, 18(1), 38–46.
- European Commission. (2015, July 6). Clean Air for Europe - Improving air quality.
- European Commission. Environmental Policies - Air pollution - European Commission. Retrieved from [http://ec.europa.eu/environment/air/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm)
- European Commution. Le programme d'action général de l'Union pour l'environnement à l'horizon 2020 «Bien vivre, dans les limites de notre planète». Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/fr.pdf>
- European Environment Agency. (n.d.). France air pollution country fact sheet [File]. Retrieved December 9, 2016, from <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/france-air>

## pollutant-emissions-country-factsheet

- European Union Law. (n.d.). EU legislation-Un air plus pur pour l'Europe. Retrieved August 30, 2016, from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=URISERV%3Aev0002>
- Evans, S. (2009). 3D cities and numerical weather prediction models: An overview of the methods used in the LUCID project [Working / discussion paper]. Retrieved June 23, 2016, from <http://discovery.ucl.ac.uk/17404/>
- Frank, L. D. (1998). Improving air quality through growth management and travel reduction strategies. *Journal of Urban Planning and Development*, 124(1), 11–32.
- Frank, L. D., & Engelke, P. (2005). Multiple Impacts of the Built Environment on Public Health: Walkable Places and the Exposure to Air Pollution. *International Regional Science Review*, 28(2), 193–216.
- Frank, L. D., Goldberg, D., Chapman, J., Kavage, S., & McCann, B. (2007). NEW DATA FOR A NEW ERA, A Summary of the SMARTAQ Findings, Linking Land Use, Transportation, Air Quality and Health in the Atlanta Region (p. Atlanta). Retrieved from [http://www.smartgrowthamerica.org/documents/SMARTAQSummary\\_000.pdf](http://www.smartgrowthamerica.org/documents/SMARTAQSummary_000.pdf)
- Frank, L. D., Kerr, J., Sallis, J. F., Miles, R., & Chapman, J. (2008). A hierarchy of sociodemographic and environmental correlates of walking and obesity. *Preventive Medicine*, (47), 172–178.
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Conway, T. L., Chapman, J., Saelens, B. E., & Bachman, W. (2007). Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality. *Journal of the American Planning Association*, (72), 75–87.
- Fusco, G., Dauphiné, A., & Rabino, G. (2004). Un modèle systémique d'indicateurs pour la durabilité de la mobilité urbaine: les cas de Nice et Gênes dans une comparaison internationale. *Chambre de Commerce italienne de Nice, Sophia Antipolis, Côte d'Azur, Nice, France, Italie*.
- Gál, T., & Unger, J. (2009). Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Building and Environment*, 44(1), 198–206.
- Ghasemi, Z., Esfahani, M. A., & Bisadi, M. (2015). Promotion of Urban Environment by Consideration of Human Thermal & Wind Comfort: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 201, 397–408.
- Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. (1999). Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology*, 38(9), 1262–1292.
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1), 83–88.
- Gros, V., Sciare, J., & Yu, T. (2007). Air-quality measurements in megacities: Focus on gaseous organic and particulate pollutants and comparison between two contrasted cities, Paris and Beijing. *Comptes Rendus Geoscience*, 339(11–12), 764–774.
- Harkey, D. L., Reinfurt, D. W., Knuiman, M., Stewart, J. R., & Sorton, A. (1998). DEVELOPMENT OF THE BICYCLE COMPATIBILITY INDEX: A LEVEL OF SERVICE CONCEPT, FINAL REPORT. Retrieved from <https://trid.trb.org/view.aspx?id=496232>
- He, X., Shen, S., Miao, S., Dou, J., & Zhang, Y. (2015). Quantitative detection of urban climate resources and the establishment of an urban climate map (UCMap) system in Beijing. *Building and Environment*, 92, 668–678.
- Hoedl, S., Titze, S., & Oja, P. (2010). The Bikeability and Walkability Evaluation Table: Reliability and Application. *American Journal of Preventive Medicine*, 39(5), 457–459.
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., & Brandt, P. A. van den. (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet*, 360(9341), 1203–1209.
- Hoek, G., Meliefste, K., Cyrus, J., Lewné, M., Bellander, T., Brauer, M., ... Brunekreef, B. (2002). Spatial variability of fine particle concentrations in three European areas. *Atmospheric Environment*,

36(25), 4077–4088.

- Host, S., Chatignoux, E., Leal, C., & Grémy, I. (2012). Exposition à la pollution atmosphérique de proximité liée au trafic : quelles méthodes pour quels risques sanitaires ? *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 60(4), 321–330.
- Hsieh, C.-M., & Huang, H.-C. (2016). Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 130–143.
- Johnson, G. T., & Watson, I. D. (1984). The Determination of View-Factors in Urban Canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(2), 329–335.
- Joint Air Quality Initiative. (n.d.). JOAQUIN. Retrieved September 27, 2016, from <http://www.joaquin.eu/Home/page.aspx/3>
- Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, (5), 451–459.
- Krizek, K. J., & Johnson, P. J. (2007). Proximity to Trails and Retail: Effects on Urban Cycling and Walking. *Journal of the American Planning Association*, (72), 33–42.
- Kwak, K.-H., Baik, J.-J., Ryu, Y.-H., & Lee, S.-H. (2015). Urban air quality simulation in a high-rise building area using a CFD model coupled with mesoscale meteorological and chemistry-transport models. *Atmospheric Environment*, 100, 167–177.
- la Direction générale de la Santé. (2016, Avril). Questions réponses Air extérieur et santé. Direction générale de la Santé. Retrieved from [http://www.villes-sante.com/wp-content/uploads/DGS\\_QR-air-et-sant%C3%A9.pdf](http://www.villes-sante.com/wp-content/uploads/DGS_QR-air-et-sant%C3%A9.pdf)
- Lee, C., & Moudon, A. V. (2006). The 3Ds + R: Quantifying land use and urban form correlates of walking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(3), 204–215.
- Leslie, E., Coffee, N., Frank, L., Owen, N., Bauman, A., & Hugo, G. (2007). Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes. *Health & Place*, 13(1), 111–122.
- L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ? (n.d.). Retrieved September 17, 2016, from <https://cybergeo.revues.org/25600>
- Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.
- Lwin, K. K., & Murayama, Y. (2011). Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(5), 408–420.
- Macdonald, R. W., Griffiths, R. F., & Hall, D. J. (1998). An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. *Atmospheric Environment*, 32(11), 1857–1864.
- Maignant, G. (2005a). Analyse multifractale de la pollution atmosphérique urbaine à partir des cartes d'immission, nouveaux indicateurs urbains. *Pollution Atmosphérique*, (186), 233–245.
- Maignant, G. (2005b). Compacité et forme urbaine, une analyse environnementale dans la perspective d'un développement urbain durable. In *Actes du colloque Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance*.
- Maignant, G. (2006). Modélisation de la dispersion de polluants à l'échelle intra-urbaine, mise en place d'indicateurs morphologiques. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00130986>
- Mairie de Paris. (n.d.). Un aménagement durable pour Paris » Un outil pour le suivi et l'évaluation des opérations d'aménagement. Retrieved from [http://www.hqegbc.org/plugins/fckeditor/userfiles/file/Ateliers10\\_Quartiers\\_VilledeParis\\_C\\_De chastenet.pdf](http://www.hqegbc.org/plugins/fckeditor/userfiles/file/Ateliers10_Quartiers_VilledeParis_C_De chastenet.pdf)
- Manaugh, K., & El-Geneidy, A. (2011). Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighborhood? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(4), 309–315.

- Marshall, J. D., Brauer, M., & Frank, L. D. (2009). Healthy Neighborhoods: Walkability and Air Pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117(11), 1752–1759.
- McCarty, J., & Kaza, N. (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 139, 168–179.
- Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital Has an Ornate Double Skin that Filters Air Pollution. (n.d.). Retrieved from <http://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalez-hospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution/>
- Ministère de l'Écologie. (n.d.). Agir pour la Qualité de l'Air: Le rôle des collectivités. Ministère de l'Écologie. Retrieved from [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure\\_Qualitedelair-collectivites\\_DEF\\_Web.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_Qualitedelair-collectivites_DEF_Web.pdf)
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. (n.d.-a). Quels sont les principaux polluants de l'air ? Retrieved February 5, 2017, from <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quels-sont-les-principaux,45342.html>
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. (n.d.-b). Surveillance de la qualité de l'air et inventaires d'émissions. Retrieved July 7, 2016, from <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Surveillance-de-la-qualite-de-l,40976.html>
- Moudon, A., Snyder, M., & Stanilov, K. (1999). [Review of Site Design and Pedestrian Travel, by P. Hess]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1674, 9–19.
- Moudon, A. V. (1992). A Catholic Approach to Organizing What Urban Designers Should Know. *Journal of Planning Literature*, 6(4), 331–349.
- Moudon, A. V. (n.d.). Cartographie de la cyclabilité : le vélo cherche ses repères - Groupe Chronos. Retrieved March 20, 2016, from <http://www.groupechronos.org/publications/blog/cartographie-de-la-cyclabilite-le-velo-cherche-ses-reperes>
- Moudon, A. V., Lee, C., Cheadle, A. D., Garvin, C., Johnson, D., Schmid, T. L., ... Lin, L. (2006). Operational Definitions of Walkable Neighborhood: Theoretical and Empirical Insights. *Journal of Physical Activity and Health*, 3, 99–117.
- Newman, P. W., & Kenworthy, J. R. (1996). The land use—transport connection: An overview. *Land Use Policy*, 13(1), 1–22.
- Ng, E. (2009). Designing High-density Cities for Social and Environmental Sustainability. Earthscan. Retrieved from [https://issuu.com/filipesilva/docs/designing\\_high-density\\_cities?reader3=1](https://issuu.com/filipesilva/docs/designing_high-density_cities?reader3=1)
- Nielsen, T. A. S., Olafsson, A. S., Carstensen, T. A., & Skov-Petersen, H. (2013). Environmental correlates of cycling: Evaluating urban form and location effects based on Danish micro-data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22, 40–44.
- Nourian, P., & Sariyıldız, S. (2012a). Designing for Pedestrians: A configurative approach to neighborhood planning and design, promoting pedestrian mobility, using an interactive computational design method for “polycentric distribution of built space” according to walkability, attractions and topographic features. *Architecture and The Built Environment - TUDelft*.
- Nourian, P., & Sariyıldız, S. (2012b, December). An Urban Walkability Assessment Model Based on Network Distance Metrics and Topographic Features. Presented at the CIB Webinars on Measuring Urban Sustainability, TUDelft.
- Nourian, P., Sariyıldız, S., & Rezvani, S. (2016). An interactive computational methodology for urban mixed-use allocation according to density distribution, network analysis and geographic attractions.
- OECD. (2016a). La pollution de l'air pourrait causer entre 6 et 9 millions de décès prématurés et coûter 1 % du PIB d'ici 2060. Retrieved January 14, 2017, from <http://www.oecd.org/fr/environnement/la-pollution-de-l-air-pourrait-causer-entre-6-et-9-millions-de-deces-prematures-et-couter-1-du-pib-d-ici-2060.htm>
- OECD. (2016b). Les conséquences économiques de la pollution de l'air extérieur. OECD Publishing.

- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113.
- Parker, T. (1994). The land use - air quality linkage: How land use and transportation affect air quality. Sacramento: California Air Resources Board. Retrieved from <http://www.arb.ca.gov/ch/programs/link97.pdf>
- Pascal, M., de Crouy Chanel, P., Wagner, V., Corso, M., Tillier, C., Bentayeb, M., ... Medina, S. (2016). The mortality impacts of fine particles in France. *Science of The Total Environment*, 571, 416–425.
- Plaine Commune. (2015). Cahier Plan local de déplacements et le plan marche. Pleine Commune: Pleine Commune et Grand Paris. Retrieved from [http://www.plainecommune.fr/uploads/media/Cahier\\_PLD\\_PM\\_01.pdf](http://www.plainecommune.fr/uploads/media/Cahier_PLD_PM_01.pdf)
- Pôle réseaux de chaleur - Cerema. (n.d.). Les réseaux de chaleur en Europe et dans le monde. Retrieved from <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/les-reseaux-de-chaleur-en-europe-et-dans-le-monde>
- Ratti, C., Sabatino, S. D., Britter, R., Brown, M., Caton, F., & Burian, S. (2002). Analysis of 3-D Urban Databases with Respect to Pollution Dispersion for a Number of European and American Cities. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2(5–6), 459–469.
- Reinhart, C. (2013, May). umi Overview ; Goal, context, workflow. Presented at the Symposium on Sustainable Urban Design – Case Studies and Design Workflows.
- Reinhart, C., Dogan, T., Jakubiec, J. A., Rakha, T., & Sang, A. (2013). UMI - An Urban Simulation Environment for Building Energy Use, Daylighting and Walkability. Presented at the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France.
- Respire. (2011). La France poursuivie pour pollution de l'air. Retrieved September 1, 2016, from <http://www.respire-asso.org/le-prix-de-la-pollution-la-france-poursuivie-pour-pollution-de-lair/>
- Reungoat, P., Chiron, M., Gauvin, S., Moullec, Y. L., & Momas, I. (2003). Assessment of exposure to traffic pollution using the ExTra index: study of validation. *Environmental Research*, 93(1), 67–78.
- Reungoat, P., Chiron, M., Gauvin, S., Zmirou-Navier, D., & Momas, I. (2005). Retrospective assessment of exposure to traffic air pollution using the ExTra index in the VESTA French epidemiological study. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 15(6), 524–533.
- Reungoat, P., Chiron, M., & Momas, I. (2004). Évaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique liée au trafic routier dans les études épidémiologiques : une revue de littérature. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 52(3), 271–296.
- Rose, N., Cowie, C., Gillett, R., & Marks, G. B. (2009). Weighted road density: A simple way of assigning traffic-related air pollution exposure. *Atmospheric Environment*, 43(32), 5009–5014.
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L., & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 192–201.
- Su, J. G., Apte, J. S., Lipsitt, J., Garcia-Gonzales, D. A., Beckerman, B. S., de Nazelle, A., ... Jerrett, M. (2015). Populations potentially exposed to traffic-related air pollution in seven world cities. *Environment International*, 78, 82–89.
- Suder, A., & Szymanowski, M. (2013). Determination of Ventilation Channels In Urban Area: A Case Study of Wrocław (Poland). *Pure and Applied Geophysics*, 171(6), 965–975.
- Sundquist, K., Eriksson, U., Kawakami, N., Skog, L., Ohlsson, H., & Arvidsson, D. (2011). Neighborhood walkability, physical activity, and walking behavior: The Swedish Neighborhood and Physical Activity (SNAP) study. *Social Science & Medicine*, (72). Retrieved from [http://ac.els-cdn.com/S027795361100147X/1-s2.0-S027795361100147X-main.pdf?\\_tid=e3a8285c-e522-11e5-af65-00000aacb362&acdnat=1457437551\\_54a4359736a50285d90649fd22ed0ad0](http://ac.els-cdn.com/S027795361100147X/1-s2.0-S027795361100147X-main.pdf?_tid=e3a8285c-e522-11e5-af65-00000aacb362&acdnat=1457437551_54a4359736a50285d90649fd22ed0ad0)
- Tao, S., Wang, Y., Wu, S., Liu, S., Dou, H., Liu, Y., ... Xing, B. (2007). Vertical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric boundary layer of Beijing in winter. *Atmospheric Environment*, 41(40), 9594–9602.
- Tardieu, C. (2015). Transition énergétique dans les projets urbains: conditions de mise en œuvre. Analyse

des cas Paris Rive Gauche, Clichy-Batignolles et Paris Nord Est (Thèse de doctorat). Université Lille 1 - Sciences et technologies, France.

Tardieu, C. (2016, June 13). Entretien.

Thibaut, G. (2000). La pollution atmosphérique en milieu urbain (l'exemple de la Région Parisienne). Paris: Mairie de Paris.

Thibaut, G. (2016, December 8). Entretien.

Tregoning, H. (2010, February). Getting To Walkability - Using Walk Score as Planning Metric and Goal. Retrieved from <http://fr.slideshare.net/mrlerner/getting-to-walkability>

Tsoka, S. (2011, September 21). Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons : application au cas des écoquartiers (other). Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [CSTB], Nantes. Retrieved from <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00762674/document>

Turner, S., Shunk, G., & Hottenstein, A. (1998). Development of a methodology to estimate bicycle and pedestrian travel demand (No. 1723-S). Texas: Texas Department of Transportation. Retrieved from <http://ntl.bts.gov/lib/21000/21400/21492/PB99121105.pdf>

Ung, A. (2003, November). Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multisources. Université Paris 7. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00004209/document>

United Nations. (2014). World Urbanization Prospects - 2014 Revision. Retrieved from <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>

Van Dyck, D., Cerin, E., Conway, T. L., De Bourdeaudhuij, I., Owen, N., Kerr, J., ... Sallis, J. F. (2012). Associations between perceived neighborhood environmental attributes and adults' sedentary behavior: Findings from the USA, Australia and Belgium. *Social Science & Medicine* (1982), 74(9), 1375–1384.

Van Dyck, D., Cerin, E., Conway, T. L., De Bourdeaudhuij, I., Owen, N., Kerr, J., ... Sallis, J. F. (2013). Perceived neighborhood environmental attributes associated with adults' leisure-time physical activity: Findings from Belgium, Australia and the USA. *Health & Place*, 19, 59–68.

Villes-Santé de l'OMS. (2015, December). Le point Villes-Santé sur la Qualité de l'Air EXTERIEUR et la Santé. Réseau français des Villes - Santé de l'OMS. Retrieved from [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure\\_QAexterieur\\_vf.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_QAexterieur_vf.pdf)

Walk Score. (n.d.). Walkability Research - Selected Research That Uses Walk Score Data in Urban Planning. Retrieved March 16, 2016, from <https://www.walkscore.com/professional/walkability-research.php>

Wegener, M., & Fuerst, F. (2004). Land-Use Transport Interaction: State of the Art (SSRN Scholarly Paper No. ID 1434678). Rochester, NY: Social Science Research Network. Retrieved from <http://papers.ssrn.com/abstract=1434678>

What are urban indicators? | Ministry for the Environment. (n.d.). Retrieved September 17, 2016, from <http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/what-are-urban-indicators>

WHO. (2005). Lignes directrices relatives à la qualité de l'air: particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. WHO. Retrieved from [http://www.who.int/publications/list/who\\_sde\\_phe\\_oeh\\_06\\_02/fr/](http://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oeh_06_02/fr/)

WHO. (2014a). Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012 (p. 3). Public Health, Social and Environmental Determinants of Health Department. Retrieved from [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AP\\_jointeffect\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AP_jointeffect_BoD_results_March2014.pdf)

WHO. (2014b, December 2). Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Housing-and-health/publications/pre-2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping Bikeability: A Spatial Tool to Support Sustainable Travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), 865–883.

- Winters, M., Frank, L., & van Loon, J. (2013). Walkability and Bikeability: What is the link?
- Wong, M. S., Nichol, J. E., To, P. H., & Wang, J. (2010). A simple method for designation of urban ventilation corridors and its application to urban heat island analysis. *Building and Environment*, 45(8), 1880–1889.
- Yang, F., Qian, F., & Lau, S. S. Y. (2013). Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. *Building and Environment*, 70, 122–137.
- Yim, S. H. L., Fung, J. C. H., & Ng, E. Y. Y. (2014). An assessment indicator for air ventilation and pollutant dispersion potential in an urban canopy with complex natural terrain and significant wind variations. *Atmospheric Environment*, 94, 297–306.
- Zhang, J., Heng, C. K., Malone-Lee, L. C., Hii, D. J. C., Janssen, P., Leung, K. S., & Tan, B. K. (2012). Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. *Automation in Construction*, 22, 90–101.
- Zhou, Y., & Levy, J. I. (2007). Factors influencing the spatial extent of mobile source air pollution impacts: a meta-analysis. *BMC Public Health*, 7, 89

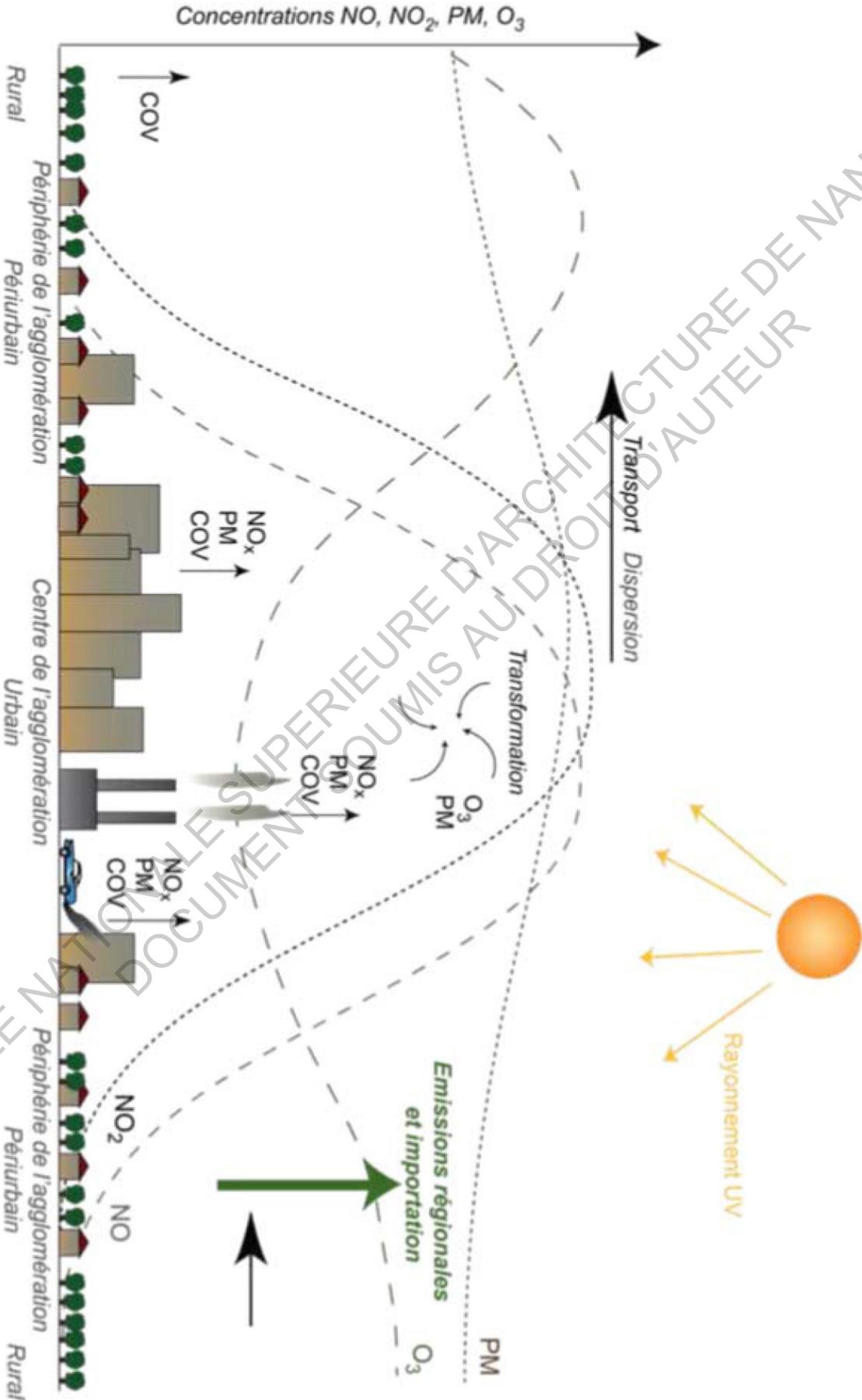
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

# Annexes

Annexe 1 - Source: AirParif

LES PRINCIPAUX POLLUANTS		Impact sur l'Environnement	Impact sur la santé
<b>Polluants</b> <b>OXYDES D'AZOTE (NOx)</b> <small>(NOx = NO + NO<sub>2</sub>)</small>	<b>Origine</b> Toutes combustions à haute température de combustibles fossiles (charbon, fioul, essence ...). Le monoxyde d'azote (NO) rejeté par les pots d'échappement s'oxyde dans l'air et se transforme en dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) qui est à 90% un polluant «secondaire».	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ rôle de précurseur pour la formation d'ozone dans la basse atmosphère,</li> <li>→ contribuent aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols,</li> <li>→ contribuent à la concentration de nitrates dans les sols.</li> </ul>	NO <sub>2</sub> : <b>gaz irritant pour les bronches</b> (augmente la fréquence et la gravité des crises chez les asthmatiques et favorise les infections pulmonaires infantiles), NO non toxique pour l'homme aux concentrations environnementales.
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) ET COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)</b>	Combustions incomplètes, utilisation de solvants (peintures, colles) et de dégraissants, produits de nettoyage, remplissage de réservoirs automobiles, de citernes ...	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ précurseurs dans la formation de l'ozone,</li> <li>→ précurseurs d'autres sous-produits à caractère oxydant (PAN, acide nitrique, aldéhydes ...)</li> </ul>	Effets divers selon les polluants dont <b>irritations et diminution de la capacité respiratoire</b> , considérés pour certains comme <b>cancérogènes pour l'homme</b> (benzène, benzo(a)pyrène), <b>Nuisances olfactives</b> fréquentes.
<b>OZONE (O<sub>3</sub>)</b>	Polluant secondaire, produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions complexes entre certains polluants primaires (NOx, CO et COV) et principal indicateur de l'intensité de la pollution photochimique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ perturbe la photosynthèse et conduit à une <b>baïsse de rendement</b> des cultures (5 à 10% pour le blé en Ile-de-France, selon l'INRA),</li> <li>→ <b>nécroses</b> sur les feuilles et les aiguilles d'arbres forestiers,</li> <li>→ <b>oxydation de matériaux</b> (caoutchoucs, textiles, ...),</li> <li>→ contribue à l'<b>effet de serre</b>.</li> </ul>	Gaz <b>irritant pour l'appareil respiratoire et les yeux</b> , Associé à une <b>augmentation de la mortalité</b> au moment des épisodes de pollution (étude ERPURS/ORS Ile-de-France).
<b>PARTICULES ou poussières en suspension (PM)</b>	Combustions industrielles ou domestiques, transport routier diesel, origine naturelle (volcanisme, érosion ...). Classées en fonction de leur taille : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PM10</b> : particules de diamètre inférieur à 10 µm (retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures)</li> <li>• <b>PM2.5</b> : particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ contribuent aux <b>salissures</b> des bâtiments et des monuments :</li> <li>• coût du ravalement des bâtiments publics d'Ile-de-France, 1,5 à 7 milliards de francs par an (Source PRQA Ile-de-France),</li> <li>• coût du nettoyage du Louvre en 1995 : de l'ordre de 30 millions de francs (Source PRQA Ile-de-France).</li> </ul>	<b>Irritation et altération de la fonction respiratoire</b> chez les personnes sensibles, <b>Peuvent être combinées à des substances toxiques</b> voire <b>cancérogènes</b> comme les métaux lourds et des hydrocarbures, Associées à une <b>augmentation de la mortalité</b> pour causes respiratoires ou cardiovasculaires (ERPURS/ORS Ile-de-France). Particules issues du diesel <b>cancérogène certain</b> (OMS).
<b>DIOXYDE DE SOUFRE (SO<sub>2</sub>)</b>	Combustions de combustibles fossiles (fioul, charbon, lignite, gazole...) contenant du soufre. La nature émet aussi des produits soufrés (volcans).	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ contribue aux <b>pluies acides</b> qui affectent les végétaux et les sols,</li> <li>→ <b>dégrade la pierre</b> (cristaux de gypse et croûtes noires de micro particules cimentées).</li> </ul>	<b>Irritation des muqueuses de la peau et des voies respiratoires supérieures</b> (toux, gêne respiratoire, troubles asthmatiques).
<b>MONOXYDE DE CARBONE (CO)</b>	Combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul ou bois), dues à des installations mal réglées (chauffage domestique) et provenant principalement des gaz d'échappement des véhicules.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ participe aux mécanismes de <b>formation de l'ozone</b>,</li> <li>→ se transforme en <b>gaz carbonique CO<sub>2</sub></b>, et contribue ainsi à l'<b>effet de serre</b>.</li> </ul>	<b>Intoxications à fortes teneurs</b> provoquant maux de tête et vertiges (voir le coma et la mort pour une exposition prolongée). Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang.
<b>MÉTAUX LOURDS</b> plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni)	Proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères mais aussi de certains procédés industriels (production du cristal, métallurgie, fabrication de batteries électriques). Plomb : principalement émis par le trafic automobile jusqu'à l'interdiction totale de l'essence plombée (01/01/2000).	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ <b>contamination des sols et des aliments</b>,</li> <li>→ s'accroissent dans les organismes vivants dont ils perturbent l'équilibre biologique.</li> </ul>	S'accroissent dans l'organisme, <b>effets toxiques à plus ou moins long terme</b> , Affectent le système nerveux, les fonctions rénales hépatiques, respiratoires ...
<b>POLLENS</b>	Éléments reproducteurs produits par les organes mâles des plantes, se dispersent soit grâce aux insectes (roses, pissenlits, marguerites, arbres fruitiers), soit par le vent (graminées, oseille, armoise, ambroisie, cyprès, bouleau).		<b>Allergie saisonnière</b> au pollen des arbres, plantes, herbacées et graminées (pollinose ou rhume des foins) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>concerne 10 à 30% de la population</b>,</li> <li>• les pollens les plus allergisants sont : bouleau, auline, noisetier, platane, olivier, frêne, chêne, graminées, plantain, armoise, ambroisie ...</li> </ul>
<b>ODEURS</b>	Substances chimiques de composition très variable comme certains COV, parfois uniquement détectables par le nez humain (outil le plus sensible mais subjectif).		Agréables ou <b>désagréables</b> (caractère subjectif), Peut être une atteinte au <b>bien-être</b> , <b>Ne sont pas forcément liées au risque sanitaire</b> , Ne font pas partie des critères de toxicité.



## Annexe 3 - Source: European Commission

### Air Quality Standards

Humans can be adversely affected by exposure to air pollutants in ambient air. In response, the European Union has developed an extensive body of legislation which establishes health based standards and objectives for a number of pollutants in air. These standards and objectives are summarised in the table below. These apply over differing periods of time because the observed health impacts associated with the various pollutants occur over different exposure times.

Pollutant	Concentration	Averaging period	Legal nature	Permitted exceedences each year
Fine particles (PM <sub>2.5</sub> )	25 µg/m <sup>3</sup> ***	1 year	Target value entered into force 1.1.2010 Limit value enters into force 1.1.2015	n/a
Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	350 µg/m <sup>3</sup>	1 hour	Limit value entered into force 1.1.2005	24
	125 µg/m <sup>3</sup>	24 hours	Limit value entered into force 1.1.2005	3
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	200 µg/m <sup>3</sup>	1 hour	Limit value entered into force 1.1.2010	18
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 year	Limit value entered into force 1.1.2010*	n/a
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	24 hours	Limit value entered into force 1.1.2005**	35
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 year	Limit value entered into force 1.1.2005**	n/a
Lead (Pb)	0.5 µg/m <sup>3</sup>	1 year	Limit value entered into force 1.1.2005 (or 1.1.2010 in the immediate vicinity of specific, notified industrial sources; and a 1.0 µg/m <sup>3</sup> limit value applied from 1.1.2005 to 31.12.2009)	n/a
Carbon monoxide (CO)	10 mg/m <sup>3</sup>	Maximum daily 8 hour mean	Limit value entered into force 1.1.2005	n/a
Benzene	5 µg/m <sup>3</sup>	1 year	Limit value entered into force 1.1.2010**	n/a
Ozone	120 µg/m <sup>3</sup>	Maximum daily 8 hour mean	Target value entered into force 1.1.2010	25 days averaged over 3 years
Arsenic (As)	6 ng/m <sup>3</sup>	1 year	Target value enters into force 31.12.2012	n/a
Cadmium (Cd)	5 ng/m <sup>3</sup>	1 year	Target value enters into force 31.12.2012	n/a
Nickel (Ni)	20 ng/m <sup>3</sup>	1 year	Target value enters into force 31.12.2012	n/a
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	1 ng/m <sup>3</sup> (expressed as concentration of Benzo(a)pyrene)	1 year	Target value enters into force 31.12.2012	n/a

\*Under the new Directive the member State can apply for an extension of up to five years (i.e. maximum up to 2015) in a specific zone. Request is subject to assessment by the Commission. . In such cases within the time extension period the limit value applies at the level of the limit value + maximum margin of tolerance ( 48 µg/m<sup>3</sup> for annual NO<sub>2</sub> limit value).

\*\*Under the new Directive the Member State was able to apply for an extension until three years after the date of entry into force of the new Directive (i.e. May 2011) in a specific zone. Request was subject to assessment by the Commission. In such cases within the time extension period the limit value applies at the level of the limit value + maximum margin of tolerance (35 days at 75µg/m<sup>3</sup> for daily PM<sub>10</sub> limit value, 48 µg/m<sup>3</sup> for annual Pm<sub>10</sub> limit value).

\*\*\*Standard introduced by the new Directive.

Under EU law a limit value is legally binding from the date it enters into force subject to any exceedences permitted by the legislation. A target value is to be attained as far as possible by the attainment date

and so is less strict than a limit value.

The new [Directive](#) is introducing additional PM2.5 objectives targetting the **exposure** of the population to fine particles. These objectives are set at the national level and are based on the average exposure indicator (AEI).

AEI is determined as a 3-year running annual mean PM2.5 concentration averaged over the selected monitoring stations in agglomerations and larger urban areas, set in urban background locations to best assess the PM2.5 exposure to the general population.

<b>Title</b>	<b>Metric</b>	<b>Averaging period</b>	<b>Legal nature</b>	<b>Permitted exceedences each year</b>
PM2.5 Exposure concentration obligation	20 µg/m3 (AEI)	Based on 3 year average	Legally binding in 2015 (years 2013,2014,2015)	n/a
PM2.5 Exposure reduction target	Percentage reduction* + all measures to reach 18 µg/m3 (AEI)	Based on 3 year average	Reduction to be attained where possible in 2020, determined on the basis of the value of exposure indicator in 2010	n/a

\* Depending on the value of AEI in 2010, a percentage reduction requirement ( 0,10,15, or 20%) is set in the Directive. If AEI in 2010 is assessed to be over 22 µg/m3, all appropriate measures need to be taken to achieve 18 µg/m3 by 2020.

## Principles

European legislation on air quality is built on certain principles. The first of these is that the Member States divide their territory into a number of zones and agglomerations. In these zones and agglomerations, the Member States should undertake assessments of air pollution levels using measurements and modelling and other empirical techniques. Where levels are elevated, the Member States should prepare an air quality plan or programme to ensure compliance with the limit value before the date when the limit value formally enters into force. In addition, information on air quality should be disseminated to the public. See more under [Implementation](#).

# LA POLLUTION DE L'AIR

## c'est quoi?

**La pollution de l'air, c'est la modification de la composition de l'air par des polluants nuisibles à la santé et à l'environnement. Ces polluants proviennent des activités humaines ou de la nature.**

### Les polluants

Trois polluants issus des activités humaines sont particulièrement problématiques en raison du dépassement récurrent des normes de qualité de l'air :

- **les oxydes d'azote (NOx)** sont émis lors de la combustion (chauffage, production d'électricité, moteurs thermiques des véhicules...);
- **les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>** sont issues de toutes les combustions. L'agriculture et les transports émettent aussi des polluants qui peuvent réagir entre eux et donner lieu à des particules secondaires;
- **l'ozone (O<sub>3</sub>)** est produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions complexes entre certains polluants, tels que les oxydes d'azote (NOx), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV).

La répartition des polluants n'est pas homogène sur le territoire et varie en fonction des saisons. Les PM<sub>10</sub>, par exemple, sont majoritairement générés par le chauffage domestique, les transports et l'ammoniac agricole au printemps. En revanche, l'ozone pose surtout problème en été.

### Quand la météo s'en mêle...

**Le vent** disperse les polluants. Il peut aussi les déplacer, ce qui n'est pas toujours favorable à une bonne qualité de l'air.

**La pluie** lessive l'air, mais peut devenir acide et transférer les polluants dans les sols et dans les eaux.

**Le soleil**, par l'action du rayonnement, transforme les oxydes d'azote et les composés organiques volatils en ozone.

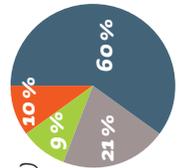
**La température**, qu'elle soit haute ou basse, agit sur la formation et la diffusion des polluants, comme les particules.

### Le saviez-vous ?

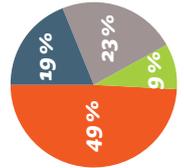
Il existe deux catégories de polluants atmosphériques :  
 - **les polluants primaires**, directement issus des sources de pollution ;  
 - **les polluants secondaires**, qui se forment par réaction chimique entre polluants primaires dans l'air.

### Les principaux polluants par secteurs

**NO<sub>x</sub>**  
(oxyde d'azote)



**PM<sub>2,5</sub>**



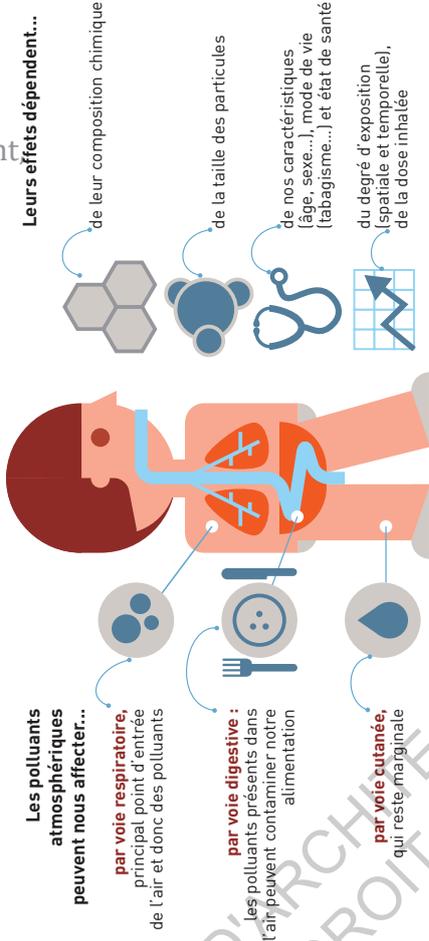
**PM<sub>10</sub>**



## Les effets de la pollution atmosphérique

La qualité de l'air a des répercussions principalement sur notre santé et sur l'environnement. Ces effets peuvent être immédiats ou à long terme (affections respiratoires, maladies cardiovasculaires, cancers, etc.).

### Sur notre santé



### Sur notre environnement

Les polluants atmosphériques ont des incidences sur :

- **les cultures** : l'ozone en trop grande quantité provoque l'apparition de taches ou de nécroses à la surface des feuilles et entraîne des baisses de rendement, de 5 à 20 %, selon les cultures ;
- **les bâtiments** : les polluants atmosphériques détériorent les matériaux des façades, essentiellement la pierre, le ciment et le verre, par des salissures et des actions corrosives ;
- **les écosystèmes** : ils sont impactés par l'acidification de l'air et l'eutrophisation. Certains polluants, lessivés par la pluie, contaminent ensuite les sols et l'eau, perturbant l'équilibre chimique des végétaux. D'autres, en excès, peuvent conduire à une modification de la répartition des espèces et à une érosion de la biodiversité.

### Le saviez-vous ?

**Jusqu'à 100 milliards d'euros** : c'est le coût annuel total de la pollution de l'air, évalué par la commission d'enquête du Sénat, dont 20 à 30 milliards liés aux dommages sanitaires causés par les particules.

Table 1. Summary of Previous Transit Accessibility Measures

Study/ Paper	Type of Measure	Reflecting Local Accessibility		Reflecting Network Accessibility	Incorporated Accessibility Measure(s)	Important Feature	Computational Complexity	Intended Users
		Spatial Coverage	Temporal Coverage					
TCQSM (2003)	LOS	Yes	Yes	No	Service Frequency, Hours of Service, Service Coverage, Demographic Data	LOS Concept	Some Technical Skill	Transit Operator Transit User
Polzin et al. (2002)	Time-of- Day tool (Index)	Yes	Yes	No	Service Coverage, Time-of-Day, Waiting Time, Service Frequency, Demographic Data	Time-of- Day Trip Distribution	Transportation Specialist	Transit Planner
Ryus et al. (2000)	TLOS	Yes	Yes	No	Service Frequency, Hours of Service, Service Coverage, Walking Route, Demographic Data	Availability & Quality of Pedestrian Route	Transportation Specialist	Transit Planner Transit Operator
Schoon et al. (1999)	AI (Index)	No	No	Yes	Travel Time, Travel Cost	Travel Cost	Little Technical Skill	Transit Planner Transit User
Fu et al. (2005)	TSI (Index)	Yes	Yes	Yes	Service Frequency, Hours of Service, Route Coverage, Travel Time Components	Weighted Travel Time	Some Technical Skill	Transit Operator
Hillman and Pool (1997)	PTAL (Index)	Yes	Yes	Yes	Service Frequency, Service Coverage	Agg. Travel Time between O-D Pairs	Transportation Specialist	Transit Planner Transit Operator
Rood (1998)	LITA (Grade)	Yes	Yes	Yes	Service Frequency, Vehicle Capacity, Route Coverage	Comfort and Convenience	Little Technical Skill	Property Developer
Bhat et al. (2006)	TAI & TDI (Index)	Yes	Yes	Yes	Access Distance, Travel Time, Comfort & Parking, Network Connectivity, Service Frequency, Hours of Service, Vehicle Capacity	Transit Dependency Measure	Little Technical Skill	Transit Planner Transit Operator Transit User
Currie et al. (2004)	Supply & Need Index	Yes	Yes	Yes	Service Frequency, Service Coverage, Travel time, Car Ownership, Demographic data	Transport Needs Measure	Some Technical Skill	Transit Planner Transit Operator Property Developer

## Annexe 6 - Entretien avec Charlotte Tardieu

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES PROJETS URBAINS : CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

Analyse des cas Paris Rive Gauche, Clichy-Batignolles et

Paris Nord-Est

Thèse de doctorat, 2015

**Est-ce qu'aujourd'hui nous pouvons parler d'un processus opérationnel type ?**

**En pratique, est-ce qu'il y a un processus type quand il s'agit d'intégrer les questions environnementales et énergétiques ?**

Non, ce n'est pas trop possible, les choses avancent très rapidement et c'est difficile de dire qu'il y a des pratiques stabilisées. En ce moment, on cherche à améliorer les pratiques.

Tout dépend déjà s'il y a des acteurs identifiés sur ces questions. Est-ce qu'on va faire appel à un AMO (assistant à maîtrise d'ouvrage) spécialisé par exemple ? Et à quel moment du projet ? Cela peut être dès le moment où on fait appel à la maîtrise d'œuvre urbaine (MOE), c'est-à-dire ceux qui vont faire le plan masse. Là, est-ce qu'on prend déjà un bureau d'études spécialisé ? Cela peut être au moment où on a identifié les problématiques et où on va chercher à les intégrer dans le projet. Maintenant, les choses évoluent, donc cela peut être aussi dès le concours de la maîtrise d'œuvre urbaine, dès le choix de l'urbaniste. Là, on peut demander que le maître d'ouvrage (MOA) affirme le besoin d'être performant en regard de l'environnement. Ce peut être en amont avec des documents type plan climat, etc., qui donnent déjà un contexte. Cela veut dire que, quand les acteurs vont arriver sur le projet, ils savent déjà que tous ces enjeux sont importants pour la ville en question. Tout dépend s'il y a déjà un terrain propice à l'environnement ou pas. Je pense que c'est la première distinction que l'on peut voir entre les projets. Après, tout dépend de l'échelle du projet et de sa complexité. Effectivement, on est dans de très gros projets. Quelle succession d'acteurs il va y avoir dans le temps aussi ? Parce qu'il y a des renouvellements d'équipes. Sauf que, bien souvent, l'acteur qui demeure, c'est l'architecte urbaniste. Parce que c'est la figure qu'il représente qui demeure longtemps. Alors que les équipes de la ville et de la municipalité vont changer, lui demeure. (04 :40) Un des meilleurs moyens de s'assurer dans le projet de sa qualité, c'est de s'assurer que, dans le travail de l'urbaniste, on prend en compte ces questions-là. Mais encore faut-il qu'il y ait une volonté politique, une commande derrière. En montant la compétence mutuellement, ce n'est pas aussi simple que de dire : il suffit d'avoir une commande. C'est le rôle aussi des techniciens d'informer, faire évoluer...

Il y a des étapes qui se retrouvent dans chaque projet, mais ce n'est pas aussi clair qu'un projet de bâtiment, de construction, où là, c'est bien phasé, on a bien identifié quel acteur à quel moment. En général, un projet urbain est plus complexe et on n'a pas de modèle type qui dit que le projet urbain commence là. Déjà, à quel moment ça commence ? Est-ce que ça commence quand un maire annonce qu'il veut faire un projet ? Est-ce que ça commence au moment où ils ont annoncé ce qu'ils voulaient faire, ou quand on désigne le MOE ? Je pense que vous, dans votre projet, il vous faut définir, cibler ça. C'est-à-dire, est-ce que la partie d'avant vous intéresse ou pas, ou est-ce qu'on se limite une fois qu'on a un périmètre défini ? Ce peut être aussi ça le démarrage du projet.

Projet urbain, cela peut aussi faire référence à un projet de territoire, de ville même... Parfois, le projet d'aménagement vient juste concrétiser un projet de ville, du coup, les grandes orientations vont être bien antérieures.

**Quelles sont les caractéristiques des documents existant à différentes échelles ? Est-ce qu'avoir des documents précis permet d'atteindre les objectifs ou est-ce qu'ils deviennent trop contraignants pour les concepteurs ? (9h25)**

Être contraignant sera dépendant de la volonté politique. Aujourd'hui, il n'y a pas de documents contractuels. Il y a des documents contractuels au moment du projet de construction mais pas du projet urbain. Parce qu'au départ, on est dans de grandes orientations. Parfois, on met des objectifs chiffrés, mais la question, c'est comment. On a toujours un problème de transparence sur la méthodologie et comment on définit ces objectifs chiffrés. C'est une problématique générale. Quel que soit le territoire, comment on donne des objectifs qui soient compréhensibles par tous, que les élus peuvent s'approprier et qui en même temps, techniquement, aient du sens. C'est sur Clichy-Batignolles qu'ils parlaient du quartier « zéro énergie » au début je crois. Ça n'a pas de sens. Mais du coup, si ça n'a pas de sens, on ne peut pas mettre derrière des processus d'évaluation, etc. Parce qu'on se met d'accord sur des formules politiques qui n'ont pas de significations réelles ou qui peuvent être interprétées de multiples façons. Ce n'est pas le but si on veut aller tous dans la même direction. (10h35)

Si c'est (les documents) plus ou moins contraignant, il faut que ce soit traduit contractuellement. Je pense que, pour l'instant, c'est le meilleur moyen. Mais du coup, à quel moment si on veut s'assurer la grande échelle, au moment du plan masse justement ? Est-ce qu'il ne faut pas intégrer là des objectifs contractuels ? Ce peut être à ce moment-là. Après tout, la contractualisation n'est pas uniquement au moment du projet de construction. Pour l'instant, je n'ai pas connaissance de projets où il y a contractualisation des objectifs au niveau avant-projet bâtiment. Parce qu'il n'y a pas labellisation non plus. La question du MOA : « Je vais contractualiser mais comment je m'assure que les résultats seront atteints ? » Pour l'instant, il se repose sur la labellisation. J'ai vu plusieurs MOA qui étaient embêtés car ils n'avaient pas en interne les compétences pour dialoguer sur ces questions environnementales.

**C'est vrai que, dans le plan climat, ils avaient intégré aussi le label BBC Efficacity. Est-ce qu'il y a quand même communication entre les documents de différentes échelles ?**(12h30)

Oui, mais toujours sur le bâtiment. Parce que, quand on regarde l'évolution des manières de faire, on est passé par le bâtiment pour se positionner sur le quartier. C'est une évolution historique parce qu'on avait déjà une réglementation sur le bâtiment. Et donc on a renforcé cette réglementation sur le bâtiment et ensuite, on s'est posé la question du projet urbain, du quartier et on est venu à la période des écoquartiers, etc. Mais ça vient avant du bâtiment. Donc on essaie de transposer les mêmes outils qu'on a créés pour le bâtiment à l'échelle du quartier. Sauf que l'on voit qu'un projet quartier est plus complexe qu'un projet bâtiment. Effectivement, parce que justement, il y a beaucoup plus d'acteurs. La répartition des rôles, du pouvoir, de décision, etc., sont plus flux.

Après, sur les autres aspects - qualité de l'air, etc. -, toute la question, c'est comment tu intègres les acteurs. Mais pour l'énergie, c'est pareil, jusqu'à maintenant, les acteurs ne sont pas intégrés.

Parce que l'aménagement n'est pas leur domaine. Toutes les agences sur la qualité de l'air, est-ce qu'il faut les intégrer, est-ce qu'il faut faire une espèce de comité de pilotage technique environnemental ? (13h50)

Finalement, le problème de faire des documents contraignants, etc., c'est qu'on rentre dans des trucs hyper administratifs, contraignants, avec des cahiers des charges hyper compliqués que les acteurs n'arrivent pas à s'approprier. Après, ils se disent : quelle est ma marge de manœuvre, quelle est ma créativité ? Il faut arriver à donner des objectifs de résultat mais pas de moyen. Parce que sinon, on fige les solutions et on empêche l'innovation. (14h35)

C'est vrai qu'à Clichy-Batignolles, ils avaient interdit le recours à la climatisation, à un système actif de rafraîchissement, notamment pour les bureaux. Alors qu'on avait dit construction sur dalle, etc. En fait, c'était assez complexe, donnant sur la voie ferrée. Donc il y avait aussi des problèmes de qualité de l'air. Au début, les acteurs ont un peu paniqué. Et puis finalement, ça a poussé – après je n'ai pas suivi jusqu'au bout, alors je ne pourrai pas juger la qualité des projets qui ont été terminés. J'ai pris les projets à certaines périodes. Mon but, ce n'était pas non plus d'évaluer leur qualité mais de voir comment ils s'en assuraient eux... Et finalement, c'est un objectif qui paraît hyper contraignant, mais qui permet de développer des

solutions et d'expérimenter aussi les différentes solutions. (15h33)

Après, la question c'est : est-ce qu'on cherche à expérimenter et du coup à faire des tests qui ne seront pas forcément concluants... ou est-ce que c'est s'assurer qu'on a déjà des solutions éprouvées ? En fait, tout dépend aussi comment on se positionne. C'est bien de faire des quartiers tests, mais il y a des gens qui vont vivre dedans et on espère que cela va durer plusieurs dizaines d'années - certains disent : on fait un bâtiment pour trente ans ; quand on parle de durabilité et tout ça... ça fait mal au cœur. La manière dont on fixe les objectifs... et du coup, l'important, c'est de créer un échange qui soit constructif plutôt que vouloir absolument contraindre et rentrer dans une grille d'analyse qui peut être stérile au final, et créer des conflits d'intérêts. Et que, finalement, ça pousse à faire le minimum pour atteindre le label. Après, il y a des contraintes, on va toujours revenir sur les aspects économies, etc. Donc il faut instaurer un dialogue.

**Pouvez-vous expliquer la méthode de « Conception partagée » regroupant différents acteurs ? Est-ce que cela permet aux acteurs de déterminer les indicateurs et les leviers d'actions ensemble ?**

Cette méthode-là, finalement, ils travaillent en concertation entre la MOA et les équipes pour chaque bâtiment (c'est-à-dire à la fois les promoteurs, les architectes, leur bureau d'études, etc.). C'était très intéressant, sauf qu'on avait un cahier des charges super détaillé. C'est comme si on se dit : « On discute mais par contre, on a déjà tout bloqué en amont. On échange comment vous allez comprendre le cahier des charges ». Du coup, c'est contradictoire les deux méthodes. Après, c'est une évolution faite en cours de projet, parce que le démarrage du projet s'est fait de manière classique, lancé bâtiment par bâtiment... Ça peut s'expliquer aussi, c'est-à-dire que, dans le même projet, c'était les mêmes équipes. Subitement, on a changé la méthode, donc ils ont gardé leur cahier des charges et puis en cours de route, ils ont adapté leur méthode de travail. Alors que sur les usages, ils ont abordé la question des usages innovants des bâtiments, notamment des espaces partagés, etc. J'ai trouvé que c'était beaucoup plus productif dans la manière d'échanger que les aspects environnementaux. (19h00) Parce que là, ils avaient champ libre si tu veux. On leur disait juste : soyez innovants, étonnez-nous. Alors après, ça se resserre, on regarde le budget, etc. Mais en tout cas, il y a eu cette période fructueuse d'échange. C'est peut être un sujet qui est plus facilement approprié par les architectes que les aspects environnementaux. Mais en tout cas, il n'y avait pas un cahier des charges super précis. Finalement, il s'est précisé en cours de route. Donc effectivement, se mettre d'accord sur les indicateurs ensemble peut être une bonne idée. Ça permet d'avancer ensemble et de pouvoir faire face ensemble aux mêmes contraintes. Et qu'il n'y a pas que la personne qui répond au cahier des charges qui se retrouve coincée avec toutes les contraintes et la MOA continue à dire : « Non, la contrainte c'est ça, mon objectif c'est ça... ». (20h05)

Alors qu'en fait, quand on les écoutait, la MOA disait : « Mon objectif c'est ça, pas autre chose. » Mais bon, on sait qu'ils n'arriveront pas, donc on assouplira à la fin. Mais du coup, on perd en crédibilité et en qualité. Pour le coup, c'était l'objectif qu'ils avaient mis sur l'indicateur de nombre d'heures d'ensoleillement un 21 décembre. En fait, ils savaient très bien que ça ne pourrait pas être respecté pour tous les logements, mais c'était inscrit noir sur blanc dans le cahier des charges et ils tenaient bon. Sauf qu'ils savaient que c'était compliqué à atteindre et qu'on n'y arriverait sûrement pas. Mais plutôt que de chercher ensemble dès le départ des solutions qui soient... Parce que là, on met le même objectif hyper contraignant sur chacun des bâtiments, on dit : « On travaille ensemble, tous les concepteurs, pour s'assurer l'optimisation d'un bâtiment à l'autre. » Mais en même temps, on ne dit pas : « Bon, on est conscient qu'il y a des logements qui vont être plus difficiles... » (21h40)

**Il n'y avait pas une assistance à MOA qui était à même de globaliser la question ?**

Alors, si, il y a eu effectivement des simulations d'ensoleillement de tous les projets ensemble, mais c'était à chacun de retenir son objectif individuellement. Ce qui est compréhensible aussi, mais finalement,

J'ai trouvé que le bureau d'études (AMO) était là pour évaluer ponctuellement le projet et pas vraiment pour co-construire avec eux. En plus, il y avait eu un changement, mais ça, c'est des problématiques de marché public. Mais il y avait eu un changement de AMO en cours de route, c'est-à-dire qu'on a un AMO qui devait faire appliquer un cahier des charges qu'il n'avait pas lui-même construit, qu'il ne maîtrisait pas très bien. Finalement, les discussions étaient : « A la page tant du cahier des charges, c'est quoi exactement l'indicateur ? », etc. Finalement, on est resté sur des questions comme ça dans ces moments d'échange qui auraient pu être hyper intéressants. On est resté sur la contrainte et sur le papier à dire : « Là, c'est sûr, c'est bon... » Après, il y a quand même eu des évolutions. Le fait de construire ensemble les différents projets, cela a permis quand même de les optimiser l'un à l'autre. Et ce travail, je trouvais ça hyper intéressant, même si cela pourrait aller plus loin sur les aspects justement d'ensoleillement, les aspects environnementaux... Mutualisation parce que finalement, c'était ensemble mais quand même très individuel. Du coup, il n'y a pas eu tant que ça d'opportunité de mutualisation des solutions. Il y avait déjà des solutions mutualisées à l'échelle du projet qui étaient décidées avant, mais on n'a pas trop laissé de marge de manœuvre aux concepteurs. (23h40)

Mais parfois il n'y a pas ce cadre-là et on y arrive quand même. C'est le cas de Paris Rive Gauche, où on a deux architectes de deux lots côte à côte qui ont décidé de travailler ensemble. Alors que personne ne leur avait demandé. Mais du coup, on voit bien dans les formes des bâtiments, ils ont optimisé effectivement la question de l'ensoleillement pour limiter la contrainte l'un sur l'autre. (24h15)

### **Est-ce qu'il existe une communication entre les échelles ?**

Dans les workshops (à Clichy-Batignolles), il y a toutes les échelles. Puisqu'on avait la ville, on avait APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) qui s'assurait d'animer les séances de travail. Donc on avait à la fois les services de la ville dont le but était de s'assurer que les projets allaient obtenir leur permis de construire. C'est intéressant pour tout le monde parce que cela veut dire qu'on prend moins de risque de perdre six mois/une année sur la temporalité du projet. On s'assure que le permis ne sera pas refusé. Donc on s'assure d'être conforme avec les aspects réglementaires de la ville. Cela permet de faire gagner du temps à tout le monde, de l'argent au promoteur, etc. Et la ville est sûre que les projets se font dans le temps et que les travaux vont bien se succéder dans le calendrier prévu. Donc à la fois il y a la ville, il y a l'aménageur qui s'occupe de la partie opérationnelle au quotidien la gestion du projet, il y a la MOE urbaine (un urbaniste). Enfin, on ne se rend pas compte au premier aperçu, mais ils n'étaient pas forcément d'accord sur la manière dont il fallait intégrer l'environnement dans le projet. (25h45)

Jusqu'où il fallait aller. Donc c'est la première limite. L'aménageur voulait aller au fond, à priori la ville aussi parce qu'ils voulaient en faire un quartier expérimental. Mais cela pose aussi la question : est-ce qu'on expérimente ou est-ce qu'on fait « la vraie ville » ? Est-ce qu'on est là pour une démonstration ou pas ? Parce que qui dit démonstration ne dit pas forcément reproductible ailleurs. Parce qu'on ne mettra pas autant d'argent. Techniquement, c'est possible de reproduire mais la question, c'est : est-ce qu'on met autant de financement la fois d'après ? La différence dans la démonstration, c'est qu'on veut faire la preuve de notre engagement sur l'environnement, et donc on met un budget énorme sur ce projet. Tous les acteurs sont d'accord pour dire qu'il n'y aura pas deux projets comme ça à Paris, parce que c'est beaucoup trop cher, et aujourd'hui, les finances ne sont plus les mêmes. On ne fera pas les mêmes choix dans de futurs projets. Du coup, finalement, on a bien tous les échelons. Et de temps en temps, il y avait aussi l'opérateur de réseau (de chauffage urbain par exemple) qui venait expliquer la contrainte pour le bâtiment de se raccorder au réseau. Cela permettait de rassembler tous les acteurs au fur et à mesure du projet et que les projets se précisent.

**Le plan masse petite échelle et le retour vers l'échelle plus grande. Est-ce qu'il y a eu un ajustement ?**  
(27h45)

Non, parce que cette initiative-là, elle s'est faite en cours de route, il y avait déjà une bonne partie du projet qui était déterminée ou en chantier ou même sortie. Est-ce qu'il y a eu un ajustement ? Non, il y avait des solutions techniques qui ont été détachées sur l'aspect réseau par exemple. Dès le départ, il était décidé que ce serait le réseau de chaleur, mais on ne savait pas par quelle énergie on allait alimenter. On savait qu'on voulait tant d'énergie renouvelable mais du coup, cela a permis au projet d'avancer. Mais on n'avait pas de solution à la question de l'approvisionnement d'énergie. Mais ça, c'est quelque chose qui a avancé dans sa propre temporalité. Mais ce n'est pas quelque chose qui est ressorti en discussion, c'était quelque chose de toute façon imposé au bâtiment.

#### **La même chose pour le plan masse ?**

**En dehors de Clichy-Batignolles, est-ce que tu connais des exemples où il y a eu cette articulation, ou alors il y a eu un retour après que le plan masse était décidé en quelque sorte et la question environnementale commence à être traitée, ou alors la question environnementale qui était traitée en amont et comment elle était traitée à ce moment-là ?(29h25)**

Il y a des évolutions dans le plan masse dans le cas de McDo (le projet qui se situe à Paris Nord-Est), mais ce n'est pas l'environnement qui le faisait modifier. C'était des contraintes vraiment techniques. Mais là, on est dans un cas très particulier quand même, on a une superposition de projets, 19 équipes qui travaillent ensemble... Mais si, il y a des trucs sur McDo qui ont évolué en cours de route, le fait de ne pas pouvoir rajouter des systèmes de climatisation sur le toit par exemple. Parce qu'on ne pouvait pas dépasser la hauteur imposée dans les documents d'urbanisme, et la volumétrie était imposée. Et c'était préférable de ne pas perdre un étage parce que le prix du mètre carré est trop intéressant. On préfère mettre de l'espace habitable que des groupes froids. Du coup, c'est tendu vers une solution de raccordement au chauffage urbain. Après, le projet s'est organisé techniquement. Est-ce que cela a vraiment modifié la forme du projet ? Non. Pour moi, l'élément qui peut influencer sur la forme peut être le bruit par exemple. On cherche à se préserver du bruit d'une infrastructure. Dans le cas de McDo, cela a joué un peu ; à Claude Bernard cela a joué aussi. On voit l'évolution des plans masse, cela a été surtout sur cet aspect de bruit. L'énergétique... non. Après, j'ai regardé des projets qui étaient déjà de « vieux » projets, où justement cette question de l'énergie est arrivée en cours de route. Ce n'est pas des projets où, dès le départ, on avait cet objectif-là. À part un peu à Clichy-Batignolles, mais pour moi Clichy-Batignolles est une démonstration du type de technologie qu'on voulait appliquer plutôt que réellement dans une vision de performance environnementale. Parce qu'on a voulu montrer qu'on pouvait faire sans climatisation, qu'on pouvait avoir un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables, mettre du photovoltaïque partout... (32h45) Mais sur le photovoltaïque, c'est intéressant ce qu'ils ont fait. Ils ont fixé un objectif de production. Il y avait la volumétrie définie par l'urbaniste et après, l'AMO a réparti la production. Là c'est intéressant. Cela veut dire que l'objectif de la production de photovoltaïque était sur l'ensemble du projet, et l'AMO a réparti suivant la volumétrie de chacun des îlots. Mais l'objectif est en termes de production, pas de surface. C'est-à-dire que vous voulez mettre moins de surface parce que c'est trop contraignant ? Dans ce cas-là, vous mettez des panneaux plus performants. Du coup, on voit bien que, en mettant cet objectif de production, l'architecture des bâtiments, la volumétrie a été optimisée pour cette production d'énergie renouvelable.

C'est plutôt que l'objectif a été adapté à la morphologie. (33h50)

Si, parce que la volumétrie n'était pas hyper précise non plus. Mais c'était s'assurer qu'entre les contraintes du programme, entre un bâtiment de logements et un grand bâtiment tertiaire, on n'avait pas les mêmes tailles de projets. Donc on a adapté l'objectif de production. Ou on a considéré qu'il y avait déjà trop de contraintes sur ce lot-là, donc on a allégé un peu l'objectif de production par rapport à un autre lot.

**Donc c'est un exemple dans lequel dès le plan masse, dès la génération des volumétries, on a intégré un objectif de performance environnementale sur la production photovoltaïque ? (34h48)**

Oui, sauf que l'urbaniste n'est pas allé très précisément dans le dessin de la volumétrie. Finalement, derrière, cela a été beaucoup modifié. Il était assez, entre guillemets, « laxiste ». C'est-à-dire qu'il y a des projets où la volumétrie est beaucoup plus précise, beaucoup plus imposée. Là, on était vraiment dans le plan urbain : comment j'implante les rues, le parc, quelle relation je veux entre les bâtiments et le parc, etc. Après, il y avait les contraintes réglementaires comme les hauteurs fixées par exemple mais il n'y avait pas cet aspect (précision) comme « je veux des cours intérieures », etc., c'était assez léger. Le projet de Claude Bernard était beaucoup plus précis par exemple. Mais Claude Bernard s'est fait en deux temps. En plus, c'était les mêmes MOE urbaines. Il y a eu d'abord le grand projet où là, ce n'était pas très précis. Et ensuite sur la ZAC (zone d'aménagement concertée), il y a eu un nouveau MOE qui a précisé le projet et qui a fait des fiches de lots assez précises.

**Donc, s'il y a vraiment un moment où il peut y avoir une contrainte forte, c'est sur les fiches des lots ?**  
(36h00)

Oui, c'est là en règle générale. En tout cas, cela eu lieu aujourd'hui. Sur Paris Rive Gauche, ils (Transsolar, la société de conseil en ingénierie) ont fait des fiches de lots environnementales. Il y avait la volumétrie, ensuite ils ont précisé, décliné sur chaque lot l'objectif environnemental.

**Ils déclinaient comment ces objectifs environnementaux ?**

Pareil, par cahier des charges. Sur ce projet, il n'y a pas du tout eu échange de travail en concertation comme il a pu y en avoir sur d'autres projets. Mais la particularité c'est que, c'était la MOE urbaine qui a fait le choix d'intégrer le bureau d'études dans son équipe. Donc on peut supposer qu'il y a eu ce travail itératif entre les aspects techniques environnementaux et le dessin du plan masse du projet. Ensuite, ça s'est décliné dans des fiches de lots environnementales. Donc il y a eu de grandes orientations sur le projet d'aménagement, et ensuite, sur chaque lot, c'était plutôt : on sait qu'il y a telle et telle énergie à regarder... Mais finalement, cela reprenait la réglementation qui demande de comparer les différents types de solutions d'approvisionnement énergétique. Mais eux, ils avaient déjà fait une présélection. Je n'ai pas tout en tête mais il y avait des objectifs de gestion de l'eau, confort thermique, etc. Après, je n'aurai que les aspects énergétiques... Après, ils auraient voulu aller plus loin sur la mutualisation entre les échanges de calories entre les bureaux et les logements, etc. Mais ça ne s'est pas fait. Ce qui est intéressant, c'est qu'il y avait l'aspect confort dans l'espace public, aux alentours des bâtiments et pas qu'à l'intérieur.

**Est-ce qu'il y a eu un aller-retour fait entre Transsolar (AMO) et l'urbaniste ?**(38h55)

A priori oui, parce qu'ils ont l'habitude maintenant de travailler ensemble. Ce n'était pas le premier projet sur lequel ils travaillent ensemble, et c'est devenu une habitude de travailler ensemble sur leurs projets. Mais ce n'était pas une exigence de la MOA (maîtrise d'ouvrage). Ce n'est pas l'aménageur qui a demandé. Ensuite elle (MOA) a demandé sur les autres parties. Parce que c'était immense et c'était découpé en secteurs. Et sur d'autres secteurs, elle a demandé. Comme ça, elle a fait des cahiers des charges environnementaux et tout ça... ce qu'elle n'avait pas fait avant. C'est finalement par démonstration Transsolar qu'ils ont vu que ça marchait bien et qu'ils ont décidé de faire comme ça.

**Si nous ne pouvons pas parler d'un processus type, est-ce qu'il y a des processus exemplaires ?**

Ça, pour moi, c'est un processus exemplaire. Ça et les workshops, à condition que ce soit fait dans des conditions réelles d'échange, co-construction réelle et pas de « On lit ensemble les cahiers des charges. » Je grossis un peu les traits mais...

**Est-ce qu'il y a d'autres exemples d'opérations dites exemplaires qui auraient mené les questions environnementales tout au long du projet ? (40h15)**

Je n'en ai pas, il faudrait voir avec Guilhem Blanchard. Les projets exemplaires, on les connaît, mais sur le processus et comment réellement c'était traité... Finalement, on n'a pas tant de retour que ça sur cette question, on n'est pas beaucoup à regarder sur cet aspect-là de « comment ça se met en œuvre dans le projet ».

**Donc, il n'y a pas de références à donner aux urbanistes, aménageurs, architectes...**

Mais non, parce que le problème, c'est qu'on a une grille d'analyse Label maintenant. Alors ça évolue aussi. La ville de Paris par exemple (mais c'est tout à la fin de la thèse) a décidé d'intégrer la grille d'analyse du label Ecoquartier dans son suivi de projet. Donc ils se sont calqués sur la grille Ecoquartier dans le but d'avoir plus de projets possibles labellisés. Du coup, ça donne un cadre qu'il n'y avait pas avant. Maintenant, c'est les grilles des labels qui viennent... Parce que c'est le seul repère qui est commun à tout le monde. Et on revient sur cette idée: « On s'assure de l'objectif qui est d'avoir un label ».

**Cela repose surtout sur l'initiative des acteurs alors ?(42h15)**

Oui, à chaque fois. Mais pour moi, c'est lié au fait que c'est nouveau, et donc c'est sur la volonté individuelle de certains acteurs, soit élus soit techniciens, qui vont pousser ces questions-là et qui vont chercher à aller plus loin. Parce qu'on est dans une période où on peut faire évoluer les pratiques. Ça se fait petit à petit et ça passe par l'individu pour changer les pratiques. Il n'y a que comme ça que ça peut marcher parce que si on impose directement un cadre hyper complexe et contraignant, on crée la confrontation et on ne donne pas envie de changer. La question de la motivation et la transition qui doit se faire et qui se fait mieux si tout le monde est d'accord d'aller dans ce sens-là plutôt que d'imposer et dire : « C'est impossible, vos objectifs on les atteindra jamais, c'est trop contraignant, vous m'empêchez de faire mon travail, ça fait trente ans que je fais ce travail... » Comme on vient de remettre en cause quand même des pratiques qui sont bien implantées, il ne faut pas qu'on arrive toute gentille à dire : « Vous ne connaissez rien de votre boulot, je vais vous apprendre à faire votre travail. »

**Et le cadre d'écoquartier, la grille d'analyse, elle n'est pas trop contraignante justement ?(43h45)**

Pour moi, elle n'est pas hyper détaillée en fait. On va rester sur des objectifs de consommation des bâtiments... Moi, je ne la trouvais pas très innovante. Problème, c'est que c'est un truc de développement durable, donc il y a tellement de thématiques. Finalement, la manière dont on évalue les projets n'a rien d'innovant et ne répond pas, ne correspond pas aux innovations qu'on essaie de mettre en place dans les projets. Moi, j'ai trouvé que c'était assez succinct. Et en même temps, ça mesure ce qu'on est capable de mesurer aussi. Parce qu'aujourd'hui, les projets sortent mais il n'y a pas (en dehors de ce label-là) d'évaluation. Et souvent, on a fixé des objectifs mais on ne vérifie jamais si on les atteint. Parce que bien souvent, on ne sait même pas comment mettre en place ce système d'évaluation. On ne sait pas qui, à quel coût et comment on intègre, qui en prend la responsabilité... Et ça, c'est valable à tous les échelons, c'est valable pour le plan climat... Alors, soit il y a ceux qui ont fait 15 000 indicateurs dans tous les sens, etc., et ont beaucoup de mal à les faire remplir. À la ville de Paris, c'est ce qui s'était fait avec le référentiel Aménagement durable. L'idée, c'était que chaque projet urbain était censé renseigner, autoévaluer le projet avec cette grille. Mais c'est beaucoup trop complexe, chronophage, et finalement (selon les échos que j'en avais eu), cela ne marchait pas trop bien. Parce qu'on venait encore leur demander. C'est bon, ils savent se débrouiller tout seul. Je pense qu'on a voulu aller trop vite, avec les trucs pleins d'indicateurs hyper

compliqués à remplir, etc. On ne sait pas trop à quel moment du projet on les remplit... Alors qu'avant, il fallait déjà s'assurer la sensibilité des personnes qui encadraient ces projets dans leur manière d'appréhender les projets, en fait y aller progressivement. Là, on a un peu brusqué les choses à dire : « Vite vite ! Il faut évaluer ! ». C'est sûr, la finalité, c'est de l'évaluer. Mais ça doit se faire progressivement. Et c'est la montée en compétence qui doit se faire ensemble. Parce que le problème, c'est qu'on a voulu faire des trucs hyper précis. Alors on s'est rendu compte que les premiers projets qui étaient sortis avec ce cadre n'étaient pas terribles. Du coup, il y a un problème de crédibilité aussi de toute cette contrainte supplémentaire qu'on essaie d'imposer sur les projets, alors que derrière, on expérimente encore. Donc, soit on se met tous ensemble et on se dit : « On sait qu'il y aura des ratés, mais le but, c'est d'évaluer tous ensemble », plutôt que dire : « Non, non, votre projet doit être absolument comme ça, il n'y a que ça pour qu'il soit réussi, c'est tout blanc ou tout noir » et ça ne marche pas, parce ce n'est pas systématisé et on n'a pas assez de retour d'expérience... et c'est trop chiffré, etc. C'est ce qu'ils expliquaient (les ateliers de Lyon), en disant : « C'est très lié en France, la réglementation thermique et tout ça... On veut toujours absolument le chiffre, etc. Donc c'est le côté administratif qu'on remplit, la grille, et si on ne rentre pas dans la case, ça ne va pas... ». (47h45)

Ils disaient qu'en Allemagne, ça se passait mieux parce que c'était plus flexible et c'était plus intelligible la manière dont on avançait ensemble, on était d'accord... Il y a beaucoup de choses qui sont intuitives quand même aussi dans les projets. Est-ce qu'on a besoin de tous tout mesurer ? Par contre, on a besoin d'instrumenter certains projets et d'avoir du retour réel, sur la consommation réelle, sur la qualité de l'air réelle, etc. On en a besoin pour instrumenter les projets dans le temps. Parce que la question, c'est aujourd'hui on évalue, mais au moment de la livraison, il n'y a encore personne dans le bâtiment. Est-ce qu'on peut s'assurer de la qualité alors que le bâtiment est vide ? Et on sait que les usages vont évoluer.

## Annexe 7 - Entretien (écrit) avec Gérard Thibaut

### Remarque générale :

Votre démarche est rare et votre réflexion en amont des questions d'urbanisme et d'architecture est excellente.

### Précisions préliminaires utiles :

1 - De quoi parle-t-on ? La pollution atmosphérique (PA) est officiellement définie par l'article 2 de la «Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie» (LAURE) : loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 ; article L220-2 du Code l'environnement :

**«Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'Homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives».**

2 – Quels sont les paramètres intervenant dans la PA ?

**1 – Les activités humaines (industries, agriculture, chauffages, déplacements) ;**

**2 – L'énergie (combustibles, carburants) ;**

**3 – Les sources de pollution (cheminées, pots d'échappements) ;**

**4 – Les émissions (polluants dits «primaires» issus des sources) ;**

**5 – La formation dans l'air des polluants «secondaires» (météorologie) ;**

**6 – Les teneurs environnementales (de «proximité» et «de fond») ;**

**7 – L'exposition des populations (dont personnes sensibles) ;**

**8 – Les effets sanitaires (à court et à long terme) et autres effets (salissures).**

La concentration liée au milieu urbain constitue une circonstance aggravante pour tous les paramètres définis ci-dessus.

3 – Sur quoi peut-on (doit-on ?) agir pour améliorer la qualité de l'air et limiter les effets de la PA ? Sur tous les paramètres, excepté évidemment sur la météorologie.

### Réponses à vos questions :

I – 1) : Il n'y a peu de relations directes entre forme urbaine et PA. Éviter les concentrations des sources (chauffages notamment), des émissions et des populations urbaines exposées, c'est «dédensifier» l'urbanisme. Mais ceci implique d'augmenter l'impact des déplacements notamment automobiles. L'idéal serait donc de regrouper dans un même quartier habitat, équipements publics et emplois, sans pour autant créer des ghettos !

I – 2) : Le design urbain peut en effet limiter la pollution notamment « de proximité » (exposition sur les trottoirs) en jouant sur le contournement du trafic de transit ou la largeur des grands axes urbains favorisant ainsi la dispersion par le vent des polluants émis. Le design du bâti proprement dit n'a pas d'effet sur la PA extérieure, mais seulement sur la PA intérieure notamment sur la conception des prises d'air des ventilations et des ouvrants, par rapport aux sources.

I – 3) : Oh, que non ! Votre vision est «journalistique» ! Voyez ce que prévoyait la LAURE en termes de planification : Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA) et Plans de Déplacements Urbains (PDU). Voir, pour l'Île-de-France, le PRQA daté de mai 2000 et le PDU de décembre 2000. Encore eut-il fallu que les autorités les prennent en compte ! Politiquement, elles ont préféré donner priorité aux questions

climatiques globales, négligeant l'échelle locale et sanitaire ! Voir ce qu'est devenu le PRQA dans le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE Île-de-France) du 14 décembre 2012 ! Je considère que rien n'empêche un urbaniste ou un architecte d'appliquer les préconisations (non réglementaires) des textes de 2000, par exemple le refus de prévoir des parkings souterrains sous les immeubles de bureaux et de faciliter l'usage des transports en commun (TC) ou le covoiturage d'entreprises.

II – 1a) : Hélas non ! A ma connaissance, à part à l'EIVP (École du génie urbain), aucune autre école d'architecture ou d'urbanisme n'intègre dans le cursus des étudiants une formation initiale sur la PA et ses effets. Mais (rassurez vous !), ces étudiants ne sont pas les seuls à passer à côté du sujet !

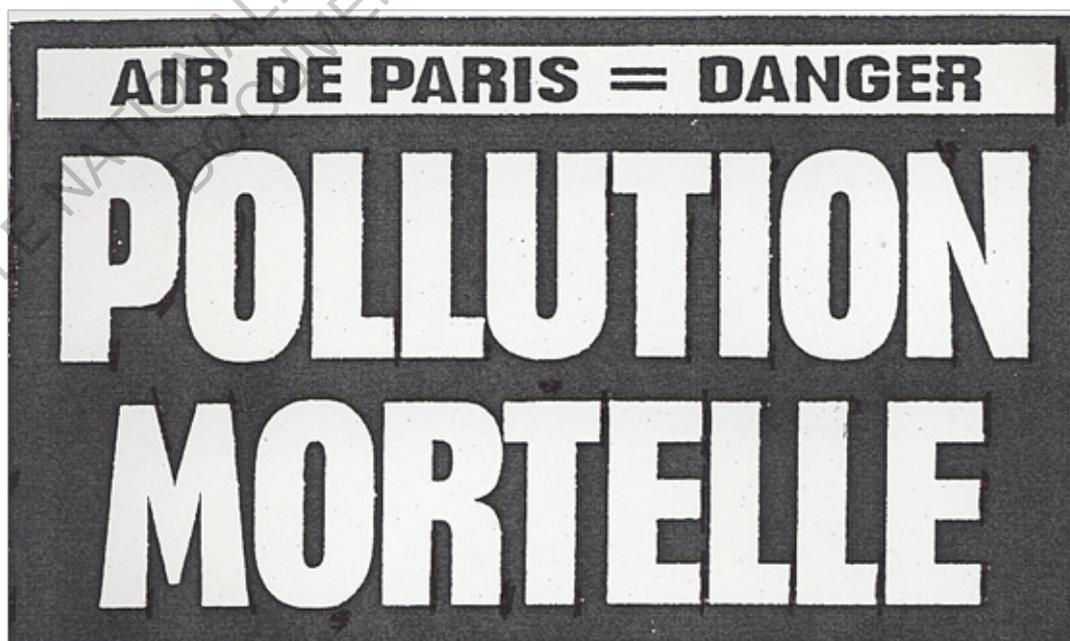
Même les professions médicales et sanitaires n'en entendent jamais parler, ou presque ! C'est inimaginable quand on sait que la PA est à l'origine de 8 millions de décès par an dans le monde. (Rapport OMS – mars 2014). A une époque récente, j'étais sollicité par nombre d'écoles d'infirmières. Tout cela a été balayé par les effets (minimes mais réels) du réchauffement climatique.

De nombreux efforts ont été faits pour la formation scientifique, environnementale et sanitaire des enseignants, par exemple la publication du guide pédagogique «L'air au quotidien» (Préface d'Hubert Reeves, Éditions Odile Jacob – mai 2003).

Par ailleurs, former des politiciens à la réalité scientifique et sanitaire de la PA pourrait remettre en cause leurs options politiques, souvent préconçues et électoralistes. Ce serait là remettre en cause en quelque sorte la ... démocratie.

Un élu de la démocratie a toujours raison, quelles que soient les options (même absurdes) qu'il entend mettre en œuvre. Or, c'est toujours lui le décideur ! ... Heureusement !

Quant à la formation des journalistes, la sacro-sainte liberté de la presse, la rend totalement impossible. Pourtant, elle serait fort utile au plan culturel à la prise de conscience du grand public, mais aussi pour éviter la transmission vers ce grand public, d'inepties catastrophistes et scandaleuses telles que cette une d'un grand journal français :



Tout cela évidemment relativise la nécessité de former à la PA, les architectes et les urbanistes !

II – 1b) : Je ne vois pas ce qu'une (in)formation sur la PA pourrait apporter aux architectes et aux concepteurs travaillant sur le design de leurs réalisations.

II – 2a) : Je ne vois pas ce que pourraient apporter à la problématique de la PA, des indicateurs spécifiquement urbains (vues aériennes ou autres), même pour les intégrer dès la conception d'un projet. D'autant que d'autres outils ont déjà démontré leur efficacité (voir ci-après : III – 2a).

III – 1) : Le principal objectif devrait être la qualité de vie des habitants, prenant en compte tous les aspects de cette qualité : qualité du bâti (notamment en terme de nuisances sonores), efficacité du mode de chauffage, environnement extérieur (espaces verts, proximité des équipements collectifs et des TC), etc. Bien évidemment, la PA fait partie de ses paramètres de cette qualité de vie.

III – 2a) : Le plus tôt possible, dès l'élaboration du projet. L'efficacité de la démarche nécessite en effet sa prise en compte très en amont. On a aujourd'hui les moyens de prendre en compte l'état initial (consommation énergétique, émissions polluantes, trafic, mesures des niveaux de PA environnementaux « fond » et « proximité de trafic », populations exposées). Des outils de modélisations permettent d'anticiper ce que deviendront ces paramètres, après la réalisation du projet urbain. Ces outils sont aujourd'hui très précis. Ils permettent, s'ils sont utilisés très en amont, de s'affranchir de la temporalité en évaluant les niveaux de PA « avant » et « après » en travaillant à météo constante, ce que ne permettent pas (évidemment !) les mesures sur sites.

III – 2b) : Cette démarche est bien définie dans les textes législatifs et réglementaires portant sur l'obligation des études d'impact « air et santé » :

- L'article 19 de la LAURE imposait que tout projet d'aménagement (urbanisme, construction, voirie, transports, etc.) présentant des impacts significatifs pour l'environnement soit accompagné des études particulières sur la pollution atmosphérique, la santé et le coût social du projet.
- La circulaire d'application datée du 17 février 1998 précisait la méthode à appliquer, dans le cas des études d'impact des projets routiers, vis à vis de la pollution atmosphérique.
- Les deux circulaires du Ministère de la Santé., des 3 février 2000 et 11 avril 2001, ont été publiées par le Ministère de la Santé. Elles sont relatives aux études d'impacts sanitaires pour tout projet.
- Le décret du 1er août 2003 (modifiant le décret du 12 octobre 1977 pris en application de l'article 2 de la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature), a introduit la nécessité d'une évaluation des effets du projet sur la santé et d'une procédure de concertation en cas d'impacts transfrontaliers.

Prendre en compte la PA et ses effets est donc, on ne peut plus simple : il suffit d'utiliser les outils adaptés (notamment les modélisations) pour appliquer ce que prévoient les textes ! Mais (ne nous leurrions pas !), la démarche de limitation de la PA, de l'exposition des populations concernées et des effets sanitaires passera toujours après les aspects économiques et financiers. Même si une étude d'impact complète ne grève que de quelques dizaines de milliers d'euros un budget total pouvant être chiffré en millions. Il faut donc expliquer aux décideurs, tout ce que ce surcoût apporte en termes de communication vers les riverains et de valorisation du projet.

Au plan des échelles géographiques ou topographiques, lesdits outils permettent de travailler à l'échelle d'un bâtiment, d'une voirie, d'un quartier, d'une ville ou d'une région, selon les besoins.

Quant à la communication entre les acteurs, elle est vitale pour un projet. Elle doit aussi répondre aux interrogations légitimes des populations concernées : habitants, commerçants, etc.

III – 2c) : La meilleure démarche consiste à réfléchir en permanence sur l'impact de l'avance de la réalisation sur tous les paramètres (activités, énergie, émissions, exposition des populations) de façon à contrôler la qualité de l'étude d'impact préliminaire décrite ci-dessus. Cette réflexion doit aussi être complétée par l'information de tous les publics concernés. Rien n'est pire que de laisser croire aux riverains et aux associations diverses, que l'avance du projet pourrait dégrader la qualité de l'air, alors que (encore une fois) la prise en compte permanente de l'impact environnemental rend très faciles les arguments scientifiques indubitables démontrant le contraire.

III – 3a) : Il existe hélas, dans l'Histoire une multitude de cas de projets d'aménagements ou de réalisations urbaines, n'ayant pas pris en compte la PA. On peut rappeler que l'idée même de cette prise en compte ne date que de la fin des années 1990, alors que la PA et ses effets étaient connus dès les années 1950.

III – 3b) : Un exemple ? Je pense à la création du Boulevard Périphérique (BP) à Paris, projet urbain majeur des années 1960 et bouclé dans sa partie Ouest en 1969. Il avait pour but de désengorger le centre ville très encombré et donc très pollué. Mais il n'a pas entraîné la moindre réflexion sur la future pollution du BP lui-même, ni sur l'exposition des habitants des quartiers extérieurs de Paris et des proches banlieusards. Aujourd'hui le BP est l'un des axes les plus circulés d'Europe, et l'une des sources majeures de pollution en France. A proximité des voies de circulation du BP, on mesure des teneurs moyennes annuelles de l'ordre de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ , polluant automobile dont la norme réglementaire est de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ! Ces teneurs mesurées sont caractéristiques de l'exposition des riverains immédiats, mais aussi et surtout des automobilistes et de leurs passagers dans le trafic du BP. Cette situation alimente la revendication d'options extrémistes et surtout irréalistes telles que la fermeture définitive du BP !

III – 4) : Oui, fixer des objectifs chiffrés (notamment ceux issus d'études d'impact bien menées) est un gage de valorisation du projet auprès des financeurs et des décideurs politiques, toujours avides d'arguments environnementaux à intégrer à leur programme politique et électoral. Un message du type : *«Je crée des logements, je crée des emplois et en plus j'améliore la qualité de l'air et la santé de mes concitoyens»*, c'est pain béni pour un élu local !

Reste alors à informer les habitants lors de réunions publiques où le projet et son avancement peuvent être présentés avec un maximum de rigueur scientifique et de transparence, dans le cadre d'une concertation bien conçue.

Conclusion :

Je vous invite à rechercher les textes que j'ai évoqués, et à les intégrer au mieux, à votre excellente démarche.

Je reste à votre disposition pour toute précision.

Bien à vous.

Gérard THIBAUT.

**L'entretien que nous avons réalisé avec M. Ducourtieux, au EIVP, n'a pas été enregistré.  
Nous partageons un résumé des notes prises lors de l'entretien sans une correction.**

**Comment nous pouvons définir le commencement du projet ?**

**Est-ce que les urbanistes/concepteurs sont impliqués dans l'étape de montage du projet ?**

- La propriété du sol est un critère essentiel qui va déterminer la forme de l'opération. Qui est le propriétaire du terrain ou qui peut avoir la maîtrise ? D'autre part, est-ce que ces terrains sont grands ou pas ? Est-ce qu'ils représentent une potentielle d'urbanisation importante ?

- Exemple : à la limite d'agglomération, le projet urbain ne sera pas très développé. On va avoir une réflexion à grande échelle, on ne va pas parler du plan guide en détail.

Les emprises foncières qui sont des anciens terrains industriels se trouvent aujourd'hui à l'intérieur des zones déjà urbanisées. La potentielle urbaine de ces emprises est plus forte. Il y a probablement déjà une clientèle pour acheter les logements ou les bureaux qui seront construits. Dans ce cas là, les pressions et les investissements seront plus grands.

- Donc l'un des premiers critères, c'est la propriété foncière, la disponibilité du sol. En France, nous avons le régime de propriété privée du sol, une propriété très puissante et très protégée. Donc, il y a des jeux de pouvoir public ou privé, cachés, sur cette question d'appropriation du sol. Il peut très bien se faire que la décision capitale qui va décider toute la suite, c'est l'achat par un grand investisseur immobilier de l'ensemble du terrain.

- Exemple : un grand entreprise de travaux repère un site bien situé, travaille en interne avec ses propres architectes et urbanistes sur l'estimation, l'esquisse d'une faisabilité et rentabilité. Donc, il y a bien des architectes et urbanistes qui sont impliqués mais ils travaillent pour le compte d'un investisseur privé. Cette phase stratégique peut aussi être publique. Cela peut être aussi une collectivité qui repère sur la longue durée des emprises, qui les unifie en achetant des petits morceaux petit à petit, dans un politique d'acquisition foncière supportée par des établissements public foncier.

- Donc on peut dire qu'il y a des maîtres d'œuvres qui sont impliqués, mais il peut y avoir une grande variété. Soit ça se passe vraiment à l'intérieur des services municipaux, des collectivités locales ; soit ça se passe complètement à l'intérieure d'une entreprise privée à vocation commerciale ou financière. Dans le deuxième cas, ils vont partir sur la programmation dont l'objectif est surtout la rentabilité, retour sur l'investissement. Soit c'est une situation intermédiaire entre les deux, c'est-à-dire ; c'est une association d'intérêt public et privé qui fait travailler ses visions et stratégies dont les urbanistes, chacun pour son compte.

- Répondre cette question est complexe (les étapes initiales de projet – pour la grille d'analyse). On peut dire que tout de suite, en effet, il y a des réflexions sur le programme. Ces trois phases (montage, programmation, conception urbaine) elles sont itératives. Tant que le chantier n'a pas commencé ou même après (car on ne construit pas tout d'un coup) il y a des allers-retours entre montage-financement-programmation/définition précise du projet urbain.

- L'urbanisme en générale se déroule sur des plusieurs décennies, donc ces sont des processus très longues, ouverts. C'est-à-dire que on a un plan directeur mais il n'est pas figé. Par exemples les voies

initialement décidées peuvent changer (La largeur, l'emplacement etc.). Le plan directeur est un projet dans le projet.

Je me suis servi de deux exemples pour mettre en place ce modèle ; Île de Nantes et Ivry Confluences. Pour Île de Nantes il y avait SAMOA et pour Ivry Confluences SADEV.

- Je ne connais pas tout ces organismes.

- Livre de Jaques Lucan, qui étudie le nouveau modèle d'urbanisme de Macrolots. Ile de Nantes en est un exemple. Il y a deux niveaux de réflexion qui sont emboîtés. On a délégué un maître d'ouvrage privé pour la conception, réalisation d'un ensemble d'îlots. Ce maître d'ouvrage délégué va découper à l'intérieur de cette grande entité des sous ensembles selon sa logique et la rentabilité. Il va ensuite confier à différentes architectes d'opération. Des sous ensembles qui sont quand même à la taille d'un îlot. Mais en fait, ils vont co-fonctionner parce qu'il y aura des parkings mutualisés en sous sols, parce qu'il y aura des voiries communes, des systèmes de réseau communs etc.

- SADEV, SAMOA ; Ils doivent être des sociétés qu'on appelle les « sociétés d'économie mixte ». Peut-être que SADEV, est une société avec le capital majoritairement public mais pas pour 100%. Mais à priori la majorité de la décision revient aux collectivités. Parfois l'État est impliqué aussi et parfois l'État est majoritaire. « Je ne connais pas Sadev, il faut vérifier. »

- Ces sont les aménageurs. C'est-à-dire que eux, ils ont la compétence pour déléguer la maîtrise d'ouvrage. Leur tâche est de produire du terrain à bâtir. Ça veut dire qu'ils vont acheter le foncier, ils vont découper, viabiliser, et ils vont le revendre. Pour faire ce découpage, il faut faire un projet urbain, donc ils font appel à des maîtres d'œuvres, à des urbanistes.

La rupture dans le modèle théorique de processus opérationnel est justement faite pour différencier cette étape. (Dans l'exemple d'île de Nantes, il y a d'abord un appel à un urbaniste (Chemetoff) pour le plan guide après, des appels aux architectes îlot par îlot.) Nous distinguons l'étape du plan guide et puis nous entrons dans la maîtrise d'œuvre, à l'échelle du bâtiment.

Nous trouvons plus intéressant de se focaliser sur les projets ou il y a un plan guide. Cela permet mutualiser certains aspects comme l'exemple donné, les parkings communs etc. Et cet aspect est important du point de vue de la qualité de l'air qui nécessite des actions à plusieurs échelles.

La question, nous avons mal à distinguer à quel moment exactement ce plan masse arrive ?

- Il peut y avoir des idées qui sont toute de suite sur la table, des grandes options. Notamment pour estimer la rentabilité de l'opération portée par l'investissement privé. Il faut avoir assez vite une idée de nombre de m2 constructible. Donc il faut un rapport voirie/espace privé.

- Exemple : Projet Trapèze à Boulogne, les usines de Renault. Renault à fait appel directement aux promoteurs investisseurs sans passer par l'État, par le commun ou la mairie. La marie de Boulogne avec son aménageur, ils se sont intervenus un peu à la marge dans la mesure où ils avaient la capacité d'autoriser ou refuser les permis de constructions pour orienter dans une direction qui leur paraissait compatible avec l'intérêt générale. Mais comme ils ne voulaient pas s'en occuper d'acheter le foncier, s'endetter et faire le projet à leur façon ; ils ont voulu laisser le monde de l'industrie et finance faire ceci tout seul. Donc en résultat, le pouvoir, l'épaisseur, la qualité des espaces publics sont faibles. C'est un peu à la mesure de ces investissements. L'hierarchie des voiries, les paysages ne sont pas très bien pensés. C'est très différent par

exemple de ce qui était fait au Paris Rive Gauche, au dessus de faisceau d'Austerlitz où, au contraire, c'est la mairie de Paris qui a décidée de s'investir beaucoup de l'argent et le temps dans la conduite directe de l'opération.

Il faut investir ces deux projets en matière de la qualité de l'air.

- Ce critère (ventilation en général) au moment de la conception du plan urbain ne pèse pas beaucoup. En tout cas, il n'est pas séparable d'une réflexion sur l'orientation, l'exposition au soleil, éventuellement les vues dégagées par des perspectives nouvelles qu'on créerait, et généralement cela s'arrête à ce stade malheureusement.

Oui, pourtant ces paramètres sont également utilisés pour autres critères.

-Oui, il créera une synergie... et puis il faut reconnaître que il y a une réflexion sur les modes de déplacement, impactant directement la qualité de l'air. Les politiques, les choix des valeurs dépendent beaucoup aux maîtres d'ouvrage. Il y a des MOA qui pensent qu'il faut permettre la liberté de déplacement individuel et motorisé (qui font des voiries prévues en conséquence, des stationnements etc. qui facilitent la présence des voitures), il y a d'autres MOA qui ont une approche au contraire volontariste pour dire non.

- Exemple; Ce que fait l'Agence de l'Environnement et Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Rennes en Bretagne est une agglomération qui est tout fait exemplaire, très en avance par rapport à Paris. Ils ont une agence d'urbanisme qui s'appelle l'AUDIAR. Il y a une urbaniste d'Allemagne, qui s'appelle Helene Bernard (qui est peut être en train de prendre son retraite). Avec ADEME, ils ont mis en place une dialogue entre l'État et les communes pour faire des plans locaux d'urbanisme qui soient orientés vers la maîtrise et limitation de la consommation des ressources naturelles et le respect à l'environnement. C'est une démarche qui s'appelle ADDOU, c'est un peu l'ancêtre de ce que ADEME appelle aujourd'hui « l'approche environnementale de l'urbanisme ». C'est à Rennes que cette démarche ADDOU a été initiée.

- Il est bien possible que quand il y a des MOA qui sont soucieux des modes de déplacements ils soient aussi soucieux de l'efficacité des formes urbaines par rapport à la ventilation, l'exposition etc...

Encore aujourd'hui cela repose sur la volonté des acteurs impliqués dans le projet.

- C'est parce que c'est eux qui sont comme intermédiaire entre les constructeurs, concepteurs, utilisateurs... C'est-à-dire qu'il y a un jeu à trois entre l'investisseur privé ou parapublique, collectivité locale (acteur public qui a le droit d'autoriser ou non la construction), consommateur/acheteur du projet. Il y a trois parties, avec des envies contradictoires.

- Ce n'est pas sûr qu'il y a une phase de montage préalable au programme. Ce qui est sûr c'est qu'il y a une phase de réflexion programmatique. Nous pouvons le distinguer car c'est une phase où la Maîtrise d'œuvre intervient. Maître d'œuvre s'empare d'un programme et va lui donner une forme spatiale. Nous ne savons pas encore quelle forme cela peut prendre. Nous avons surtout défini des usages attendus, des besoins... Mais il peut y être une grande interconnexion entre ces deux aspects.

- C'est peut-être raisonnable de distinguer cet aspect là de l'autre (montage et programmation), c'est vrai que ces ne sont pas exactement les mêmes questions. Premier (montage) est une question de montage financier et le jeu de pouvoir et donc il ne faut pas oublier la propriété foncière. Mais ceux qui sont dans le montage dépendent des options qui sont pris sur le programme. Il y a vraiment une interaction.

Quand on fait la déclaration du projet, par exemple quel est le moment où on insère la création d'un ZAC dans le PLU...

- C'est assez an aval. Toute suite il y a les questions de foncière et donc les questions de périmètres. Généralement nous partons de mauvais sens, au lieu de partir d'un projet urbain et de voir quels sont les fonctions dont nous avons besoin, nous faisons plutôt l'inverse. C'est-à-dire que nous avons une occasion qui se présente d'une pointe de vue foncière et nous cherchons après les fonctions que nous pouvons y intégrer, et éventuellement parfois, s'il faut encore augmenter un peu le terrain ou on laisse de côté une partie du terrain pour plus tard.

Le moment où nous apportons des changements au PLU, il n'y a pas encore des objectifs programmatique, ou écologiques.

- En réalité il est plutôt après les grands choix programmatiques. Il y a une phase de discussion, un forum de concertation, qui peut durer une année deux années..., et quand on est à peu près d'accord, sur un périmètre et sur un programme, là on déclenche le démarrage de la phase opérationnelle officielle. C'est-à-dire, il y a une phase opérationnelle préliminaire et en suite une phase où un aménageur peut intervenir. En fait c'est l'aménageur qui porte la démarche de constitution du dossier de ZAC, de projet d'aménagement... Mais pendant toute cette phase il a investi un peu à perte. Il n'y a pas encore le dossier déposé, auprès des services compétents pour définir un périmètre et un programme. En fait, pour faire cela, il y a un vote des autorités publiques, un vote municipal, un vote de collectivité pour que cela signifie le dépôt. C'est nécessaire pour lancer la viabilisation, commencer à faire appel à maître d'œuvre. Il faut qu'il y ait un accord de la puissance publique. Pour faire une déclaration du projet il faut une décision du conseil municipal. Mais dans le projet il y a un programme...

Quand nous apportons un changement au PLU ce n'est pas seulement la détermination du périmètre, il y a d'autres choses...

- « PLU c'est un peu comme une coquille ». C'est-à-dire qu'on peut donner des orientations d'aménagement qui contiennent des choses assez précises, mais on n'est pas obligé. PLU dit si on a le droit ou pas de construire. Il ne précise pas ce qu'on va faire, il peut si on le souhaite. Mais c'est rare en pratique pour ne pas se donner des obstacles ensuite à des changements éventuels du projet. PLU n'est pas obligatoirement modifié par le projet d'aménagement. Il est modifié que si les terrains vont changer de destination.

Quand on passe aux appels aux architectes, à la phase de construction des îlots, est-ce que les allers-retours sont encore possible avec l'échelle urbaine?

- C'est minime. Il peut y avoir des modifications du plan urbain. (Concernant la césure dans le modèle théorique de processus urbaine :) C'est vrai que là il y a un découpage, chaque partie va créer son autonomie, et la cohésion de l'ensemble c'est la voie publique principale, on ne peut plus toucher à cela ensuite (ou d'une façon très limitée). Parce que la voie publique est aussi liée aux questionnes de réseaux etc.

- Même à la fin de première étape, en générale il y a la viabilisation, dès cette étape il y a des constructions. Donc il y a deux phases de construction. (Avant la césure dans le modèle théorique de processus urbain) Il y a la construction de la voie publique. Avec une maîtrise d'ouvrage directe de la part de l'aménageur générale. S'il faut construire des ponts, s'il faut prévoir des égouts etc. Il y a une phase qui est couteuse surtout si le terrain passe d'anciennes occupations industrielles à l'habitat.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

**Deniz Özsoy**



École Centrale de Nantes

MINES Nantes

ENSA Nantes

2017