



---

# Convergence des actions Bruit, Climat, Air, Énergie pour une planification performante

---

Des pistes pour comprendre  
et pour agir sur les territoires



BRUIT  
CLIMAT  
AIR  
ÉNERGIE

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

## **Ce document est édité par l'ADEME**

### **ADEME**

20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

**Coordination technique :** Emmanuel Thibier, ADEME

**Coordination édition :** Véronique Dalmasso, ADEME

#### **Comité de pilotage ADEME :**

Sylvain Avril, DR Auvergne Rhône-Alpes  
Alain Besançon, DR Nouvelle-Aquitaine  
Pierre Chabret, Service Action Territoriale  
Aude Fortain, DR Île-de-France  
Jean-Michel Graillat, DR PACA  
Céline Laruelle, Service Bâtiment ADEME  
Colas Paris, DR Auvergne-Rhône-Alpes  
Marie Poupponeau, Service Qualité de l'Air  
Daniela Sanna, Service Organisations Urbaines  
Emmanuel Teys, DR Hauts-de-France  
Emmanuel Thibier, Service Organisations Urbaines

**Création graphique :** [www.agencemars.com](http://www.agencemars.com)

Illustration de couverture réalisée à partir de la vue aérienne

© Alamyimages

**Brochure réf. 010618**

**ISBN :** 979-1-02971-132-9 - Mars 2019

**Dépôt légal :** ©ADEME Éditions, mars 2019

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.



## REMERCIEMENTS

Le Service des Organisations Urbaines de l'ADEME, le CidB et Énergies Demain tiennent à remercier tout particulièrement les référents des six territoires ayant participé à l'expérimentation PCAET & Bruit de l'ADEME entre 2017 et 2018, ainsi que les personnalités qualifiées ayant apporté leur concours à l'élaboration de ce guide.

### **Coordination technique**

Emmanuel Thibier, Service Organisations Urbaines, ADEME

### **Rédacteur en chef**

Philippe Strauss, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB)

### **Rédacteurs**

Jean-Marc Abramowitch, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB)

Vincent Briand-Boucher, Énergies Demain

Agathe Chateauminois, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB)

Laurent Droin, Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB)

Lucas Remontet, Énergies Demain

### **Participants des collectivités issues de l'expérimentation PCAET & Bruit**

Céline Antunès, Grenoble Alpes Métropole

Karen Boulot, Saint-Étienne Métropole

Pierre Brun, Saint-Étienne Métropole

Delphine Capet, Communauté urbaine de Dunkerque

Samuel Degezelle, Communauté urbaine de Dunkerque

Hélène Dourneau, Bordeaux Métropole

Christine Haccard-Mari, Communauté d'agglomération Paris-Saclay

Claire Le Strat, Communauté d'agglomération Paris-Saclay

Christian Leclerc, Communauté d'agglomération Paris-Saclay

William Meunier Grenoble Alpes Métropole

Céline Salès, Métropole Aix-Marseille Provence

Lorraine Weiss, Communauté d'agglomération Paris-Saclay

### **Relecture**

Mohamedou Ba et Marie Pouponneau, Service Qualité de l'Air, ADEME

Denis Benita, Laurent Gagnepain et Maxime Pasquier, Service Transports et Mobilité, ADEME

Christelle Bortolini, Sophie Debergue, Solène Marry, Daniela Sanna, Service Organisations Urbaines, ADEME

Nathalie Commeau, Mission Bruit et Agents physiques DGPR, Ministère de la transition écologique et solidaire

Marie Heckmann, PCA DGEC Ministère de la transition écologique et solidaire

Céline Laruelle, Service Bâtiment, ADEME

Jean-Michel Parrouffe, Service Réseaux Énergies Renouvelables, ADEME





# SOMMAIRE

## 1

### Préambule 6

### Les enjeux 8

#### 1.1 LES TERRITOIRES EN PREMIÈRE LIGNE 9

#### 1.2 L'ENVIRONNEMENT SONORE, UN ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE 9

1.2.1 *Un coût social important* 10

1.2.2 *Les politiques publiques de gestion du bruit dans l'environnement* 10

#### 1.3 L'ARTICULATION ENTRE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT 11

1.3.1 *De multiples points de convergence* 11

1.3.2 *Les bienfaits d'une approche transversale des enjeux* 12

1.3.3 *Les similitudes et les différences entre les stratégies d'atténuation du bruit et les enjeux climat, air et énergie* 13

1.3.4 *Gouvernance : comment diffuser et partager la compétence bruit ?* 16

1.3.5 *Comment articuler PPBE et PCAET avec les autres outils de planification et les documents d'urbanisme ?* 17

#### 1.4 LES MODALITÉS DE PRISE EN COMPTE DU BRUIT À CHAQUE ÉTAPE D'ÉLABORATION D'UN PCAET 18

1.4.1 *S'appuyer sur l'état des lieux dressé dans le cadre du PPBE pour le diagnostic bruit* 18

1.4.2 *Intégrer le bruit dans la stratégie territoriale : s'inspirer de l'exemple de la qualité de l'air* 18

1.4.3 *Identifier les actions dans lesquelles le bruit peut être intégré* 19

## 2

### Les méthodes et outils 20

#### 2.1 LES NOTIONS ESSENTIELLES D'ACOUSTIQUE ENVIRONNEMENTALE 21

#### 2.2 LES DÉMARCHES POUR L'ÉVALUATION DES GAINS ACOUSTIQUES D' ACTIONS CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT 23

2.2.1 *Une grille d'évaluation qualitative simplifiée des gains acoustiques d'un PCAET* 24

2.2.2 *La méthode de l'arbre des conséquences pour identifier les mécanismes synergiques* 28

2.2.3 *Une vision globale grâce aux compléments des évaluations quantitatives des impacts et des risques sanitaires* 31

2.2.4 *L'outil "évaluation d'impact sur la santé" pour ordonner les priorités* 37

2.2.5 *Des outils pour un traitement intégré dans l'urbanisme* 46

#### 2.3 LES OUTILS ET RETOURS D'EXPÉRIENCES : DES DIAGNOSTICS CROISÉS ET DU SUIVI DES ACTIONS 47

2.3.1 *Pourquoi et comment croiser les cartes de qualité de l'air et de bruit ?* 47

2.3.2 *Qu'attendre des modélisations 3D Air et Bruit ?* 58

## 3

## Les recommandations

64

<b>3.1 LES ACTIONS RELEVANT DE LA PLANIFICATION URBAINE</b>	<b>65</b>
3.1.1 <i>Agir sur les formes urbaines et architecturales</i>	65
3.1.2 <i>La végétalisation en milieu urbain</i>	81
3.1.3 <i>Le cas particulier du tramway dans la végétalisation des voies de TCSP</i>	89
<b>3.2 LES ACTIONS LIÉES AUX TRANSPORTS ET À LA MOBILITÉ</b>	<b>95</b>
3.2.1 <i>Actions sur le trafic</i>	95
3.2.2 <i>Limitation des vitesses</i>	105
3.2.3 <i>Zone à Circulation Restreinte (ZCR)</i>	112
3.2.4 <i>Ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)</i>	118
3.2.5 <i>Les véhicules légers à motorisations électrique et hybride</i>	126
3.2.6 <i>Les motorisations innovantes pour les poids lourds</i>	129
3.2.7 <i>Les technologies innovantes pour la voirie</i>	133
<b>3.3 LES ACTIONS SUR LE BÂTI</b>	<b>136</b>
3.3.1 <i>Conjuguer isolation thermique et acoustique</i>	136
<b>3.4 LES ACTIONS LIÉES À LA PRODUCTION D'ÉNERGIE</b>	<b>150</b>
3.4.1 <i>Production d'énergie renouvelable</i>	150

## 4

## Les annexes

154

<b>4.1 LA LISTE DES CAS CONCRETS, FOCUS ET TÉMOIGNAGES</b>	<b>154</b>
<b>4.2 LES DONNÉES, OUTILS DE PRÉVISION ET DE MESURE RELATIFS AUX ÉMISSIONS DES VÉHICULES</b>	<b>156</b>
4.2.1 <i>Deufrabase de l'IFSTTAR</i>	156
4.2.2 <i>Outil PreDIR</i>	156
4.2.3 <i>Quelques logiciels de modélisation mixte acoustique et qualité de l'air</i>	156
4.2.4 <i>Surveillance de la pollution atmosphérique et sonore</i>	156

## LÉGENDE PICTOGRAMMES



Qualité de l'environnement sonore



Pollution atmosphérique



Îlots de chaleur urbain

*(actions sur le bâti)*Réchauffement climatique  
*(actions liées aux transports)*Consommation énergétique  
*(actions liées aux transports)*Consommation énergétique  
*(actions sur le bâti)*

Qualité de l'air intérieur



Recommandations



# PRÉAMBULE

***La lutte contre le changement climatique, l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction des nuisances sonores sont au cœur de la transition énergétique et écologique de la France et de l'action des collectivités territoriales, qu'elles soient directement du ressort de leurs compétences ou plus largement en lien avec l'activité des acteurs de leurs territoires.***

***Dans la dynamique de la loi de transition énergétique pour la croissance verte d'août 2015, au croisement de la prise en compte de ces enjeux, deux dispositifs doivent être notamment mis en place par les collectivités :***

- > Les Plans Climat, Air, Énergie Territoriaux (PCAET) doivent être élaborés par les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) de plus de 20 000 habitants ;***
- > Les Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE) doivent être réalisés par tout EPCI de plus de 100 000 habitants.***

*Via les différentes obligations réglementaires d'articuler ces dispositifs avec les autres documents cadre réalisés par les collectivités, Schéma de Cohérence Territorial (SCoT), Plan Local d'Urbanisme (PLU), Plan de Déplacement Urbain (PDU), Programme Local de l'Habitat (PLH)... , les thématiques climat, air, énergie et bruit infusent naturellement dans toutes les actions de la collectivité afin d'assurer la protection de l'environnement et la lutte contre le changement climatique, la qualité de vie et la santé des citoyens et le développement économique des territoires.*

*L'opportunité de faire jouer les synergies est donc très importante, et ce d'autant plus que les actions à bénéfices croisés sont nombreuses. Si l'enjeu de réduction des émissions de gaz à effet de serre est global, les effets du réchauffement climatique ont des conséquences locales, tout comme l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et des nuisances sonores. Les points de convergence de la réduction des émissions et de l'exposition des populations sont nombreux, mais certains antagonismes existent. Il importe donc d'adopter une approche multicritère pour profiter des co-bénéfices découlant d'une réflexion et d'une mise en œuvre visant la convergence des actions. Par ailleurs, leur acceptabilité sociale,*

leur mise en œuvre stratégique et opérationnelle et leur intérêt économique en seront fortement accentués. Une approche transversale prenant en compte l'ensemble des enjeux en amont des décisions doit ainsi permettre de faciliter les arbitrages nécessaires en s'appuyant sur l'ensemble des enjeux et bénéfiques pour le climat, l'énergie, l'air et le bruit. Dans ce contexte et dans un souci d'efficacité technico-économique, **la recherche d'une convergence des actions climat, air, énergie et bruit, notamment au travers des documents de planification et d'orientation stratégique, devient alors une nécessité.** Dans une vision systémique, l'ADEME a orienté sa mission de lutte contre les nuisances sonores vers une stratégie d'intégration de la protection de l'environnement sonore en lien avec les autres enjeux environnementaux et sanitaires, via notamment la planification territoriale et l'aménagement urbain.

Dans ce cadre, l'ADEME a lancé en 2016 un appel à manifestation d'intérêt (AMI) "PCAET et Bruit" auprès des EPCI et en lien avec les PPBE, afin d'accompagner des collectivités territoriales volontaires à expérimenter des pratiques de planification et d'aménagement durables, qui intègrent la protection de l'environnement sonore. Six territoires candidats ont été sélectionnés : Aix-Marseille Provence Métropole, Bordeaux Métropole, Communauté Urbaine de Dunkerque, Grenoble-Alpes Métropole, Communauté d'Agglomération de Paris-Saclay, Saint-Étienne Métropole.

Ces territoires ont participé activement à cette expérimentation qui a permis de relier l'expertise sur ces sujets avec les besoins et la réalité de leurs projets. Ce travail a permis de mettre en lumière les principales difficultés, dégager des facteurs de réussite et des pistes de compréhension et d'action pour les collectivités permettant de faire converger les réponses aux enjeux climat, air, énergie et bruit.

Le présent document pose les bases de la réflexion et encourage à l'action en s'appuyant sur cette expérimentation. Il n'ambitionne pas de traiter le sujet de manière exhaustive, des questions de gouvernance aux détails techniques de mise en œuvre, d'autant que les réponses sont souvent contextuelles. Son objectif est de donner, principalement aux porteurs de projets sur les territoires, les principales clés et enseignements afin d'adopter une approche croisée, sans a priori, et d'apporter une base riche d'éléments techniques permettant l'analyse et la mise en perspective des actions à l'aune des enjeux climat, air, énergie et bruit en faveur de la transition écologique et énergétique.



1.1	LES TERRITOIRES EN PREMIÈRE LIGNE	9
1.2	L'ENVIRONNEMENT SONORE, UN ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE	9
1.3	L'ARTICULATION ENTRE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT	11
1.4	LES MODALITÉS DE PRISE EN COMPTE DU BRUIT À CHAQUE ÉTAPE D'ÉLABORATION D'UN PCAET	18

## Intégrer le bruit dans les PCAET : tout à y gagner

À travers la mise en œuvre des PCAET, les territoires sont la cheville ouvrière de la transition énergétique. Travailler sur la définition d'objectifs et la mise en œuvre d'actions à bénéfices multiples intégrant la lutte contre le bruit est une opportunité répondant aux enjeux environnementaux et sanitaires.

Pourquoi ? Parce que le bruit est un problème de santé publique devant lequel on ne peut rester inactif. Une dimension comprise depuis plusieurs années, mais qui continue à prendre de l'ampleur.

*Le saviez-vous ?*

Le bruit a un impact social important désormais connu, estimé à 57 milliards d'euros par an en France. Or, dans un contexte budgétaire contraint, il est nécessaire d'adopter une approche combinée.

Celle-ci est d'autant plus aisée que les points de convergence entre les stratégies d'atténuation du bruit et les enjeux climat, air et énergie sont nombreux. Pour exemple, favoriser le développement des véhicules électriques apporte un bénéfice pour l'atténuation du bruit. Les outils que sont le PCAET et le PPBE présentent des similitudes (périodicité, étapes...) qui augurent des mutualisations possibles. Ces convergences naturelles ne doivent cependant pas masquer des logiques qui peuvent être antagonistes. Ainsi, augmenter la performance d'un silencieux d'échappement peut avoir pour effet d'alourdir un véhicule et donc augmenter sa consommation et son impact environnemental.

D'où l'importance de hiérarchiser les problèmes. Or, si une politique sectorielle ne facilite pas de tels arbitrages, une politique transversale le peut.

1.1

## LES TERRITOIRES EN PREMIÈRE LIGNE

Réduction des émissions de gaz à effet de serre, adaptation au changement climatique, efficacité et sobriété énergétique, amélioration de la qualité de l'air, développement des énergies renouvelables, le PCAET, en tant que projet territorial à la fois stratégique et opérationnel, se positionne comme la cheville ouvrière des engagements nationaux et internationaux et représente une réelle opportunité pour les territoires. Il s'agit pour les territoires de conjuguer les enjeux de la transition énergétique et écologique avec la valorisation des ressources locales, l'optimisation budgétaire, le renforcement de l'attractivité économique et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens.

Les collectivités territoriales sont de plus en plus en première ligne face aux conséquences du changement climatique. À cela vient s'ajouter le coût de l'inaction :

- en France, la pollution atmosphérique est par exemple responsable de 48 000 décès par an<sup>1</sup> et représente un coût socio-économique estimé entre 68 et 101,3 milliards d'euros par an<sup>2</sup> ;
- le coût social du bruit en France est évalué à plus de 57 milliards d'euros par an<sup>3</sup>, avec plus de 25 millions de personnes affectées significativement par le bruit des transports, dont 9 millions d'individus exposés à des niveaux critiques pour leur santé.

Face à ces défis et ces différents enjeux, les collectivités territoriales ont un rôle central à jouer, notamment en lien avec les récentes évolutions réglementaires qui élargissent leurs responsabilités. Cela bien évidemment sur les thématiques climat, air et énergie, enjeux fondamentaux qui ont pris une place de plus en plus importante au sein de l'agenda politique ces dix dernières années. Ces thématiques bénéficient d'ailleurs d'une littérature et d'une documentation riche permettant aux collectivités de se saisir de ces sujets, à commencer par le guide de l'ADEME : "PCAET, comprendre, construire et mettre en œuvre".

C'est notamment ce document qui mentionne que "l'approche combinée air-bruit permet souvent de faire d'une pierre deux coups". Il est en effet opportun de s'intéresser aux synergies et aux co-bénéfices qui peuvent être obtenus en

intégrant dans ces démarches une problématique actuellement moins présente dans les ressources à disposition : le bruit. Il s'agit alors de réfléchir aux modalités de sa prise en compte dans les réflexions transversales et les démarches actuelles de planification.

## L'ENVIRONNEMENT SONORE, UN ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE

1.2

Le bruit dans l'environnement est une cause majeure de détérioration de la qualité de vie en Europe. Il est principalement généré par la circulation routière (90 % des cas d'exposition, loin devant le trafic ferroviaire, les aéroports et les usines). Au-delà de la gêne ressentie, le bruit des transports dégrade notre santé sans que l'on en ait nécessairement conscience. De fait, en occasionnant stress, anxiété ou troubles du sommeil, cette exposition chronique est néfaste pour le système cardiovasculaire. Bien que ces impacts sur la santé humaine soient connus depuis longtemps, de récents travaux de recherche montrent qu'ils surviennent à des niveaux sonores plus faibles que ce qu'on imaginait précédemment. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS<sup>4</sup>), c'est entre 50 et 55 décibels  $L_{den}$ <sup>5</sup> que le risque d'hypertension, d'infarctus ou même d'AVC commence à augmenter. Or, l'Agence européenne pour l'environnement (EEA<sup>6</sup>) estime qu'un européen sur quatre serait concerné par une exposition à un niveau sonore moyen supérieur à 55 dB(A)  $L_{den}$ . Dans l'Union européenne, le bruit du trafic routier serait ainsi responsable de 900 000 cas d'hypertension, de 43 000 hospitalisations et de 16 000 décès prématurés par an. En France, 50 % des habitants des grandes villes subissent plus de 55 dB(A)  $L_{den}$  en moyenne.

Une attention particulière doit être portée sur l'exposition au bruit des enfants. Ils sont plus vulnérables que les adultes dans la mesure où ils n'ont pas encore mis en place de stratégies d'adaptation pour lutter contre les nuisances sonores. Des études ont montré que le bruit affecte aussi le développement cognitif (lecture, mémorisation de tâches complexes...) et la qualité de vie des enfants. L'étude NORAH (2017) s'est intéressée aux relations dose-exposition de 1 243 enfants.

Les résultats montrent une baisse significative des performances en lecture avec l'augmentation du bruit

<sup>1</sup> Source : Santé publique France – 2016

<sup>2</sup> Rapport sénatorial "Pollution de l'air, le coût de l'inaction" – Juillet 2015

<sup>3</sup> Analyse bibliographique des travaux français et européens – Le coût social des pollutions sonores – Étude ADEME EY – Mai 2016

<sup>4</sup> Night Noise Guidelines for Europe – OMS – 2009

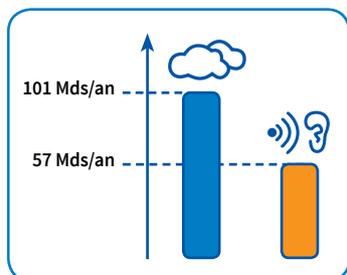
<sup>5</sup> Niveau sonore annuel moyen sur 24h évalué à partir des niveaux moyens de journée, de soirée et de nuit. Pour une meilleure représentation de la gêne perçue, le calcul du  $L_{den}$  augmente les niveaux moyens de soirée et de nuit de 5 et 10 dB(A) respectivement. C'est l'indicateur harmonisé retenu par la directive européenne sur le bruit dans l'environnement pour établir les cartes de bruit et fixer les valeurs limites d'exposition

<sup>6</sup> Noise in Europe 2014 – Agence Européenne de l'Environnement



des avions (lp, 8H-16H 40-60 dB). Une augmentation de 10 dB des niveaux sonores est associée à un mois de retard dans l'apprentissage de la lecture<sup>7</sup>.

### 1.2.1 Un coût social important



En mai 2016, la première étude sur le coût social de la pollution sonore en France<sup>8</sup> a été commanditée par l'ADEME et le Conseil national du bruit (CNB).

Réalisée par le cabinet de conseil EY, l'étude évalue le coût social du bruit à 57 milliards d'euros par an, soit près de 3 % du produit intérieur brut (PIB) national. Le bruit des transports, le bruit au travail et le bruit de voisinage comptent chacun pour environ un tiers de ce coût.

Dans un récent rapport<sup>9</sup>, le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) a analysé cette évaluation du coût social. Le CGEDD estime que *“le coût social du bruit des transports présenté dans l'étude, qui s'élève à 20,6 milliards d'euros par an, ne paraît pas surévalué”*. Dans sa conclusion, le CGEDD considère que le coût global de 57 milliards d'euros par an *“est un montant non seulement plausible, mais très probablement minimal. Il serait ainsi d'un ordre de grandeur voisin du coût social de la qualité de l'air”*.

### 1.2.2 Les politiques publiques de gestion du bruit dans l'environnement

Historiquement, l'action de l'État en matière de lutte contre le bruit dans l'environnement s'est essentiellement traduite par la mise en place d'une réglementation visant à prévenir l'exposition des populations au bruit des transports, par l'incitation au développement de techniques de réduction innovantes, ainsi que par un programme de réparation du préjudice causé par les infrastructures routières et ferroviaires (les “point noirs du bruit”<sup>10</sup>).

Depuis le début de la décennie 2000, ce contexte a progressivement évolué. Sous l'effet notamment du transfert par l'État de l'essentiel de son réseau

national aux départements, les collectivités ont vu s'amplifier leurs responsabilités en matière de bruit. Notamment, elles sont devenues le principal acteur du traitement des points noirs du bruit, qui représente des opérations longues, complexes et coûteuses (isolation acoustique des façades ou écran acoustique le plus souvent). Selon le Cerema<sup>11</sup>, 80 % des 850 000 logements répertoriés comme point noir sont situés en bordure d'infrastructures départementales (410 000 logements) ou communales (300 000 logements).

Par ailleurs, en 2002, l'Union européenne a enclenché une dynamique réglementaire, en promulguant une directive sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement (directive 2002/49/CE). Cette réglementation est venue imposer aux gestionnaires d'infrastructures de transport et aux grandes collectivités territoriales l'obligation d'élaborer et de publier des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement.

Depuis 2009, l'essentiel des fonds de l'État affectés à la lutte contre le bruit dans l'environnement l'a été au titre du “plan bruit” porté par l'ADEME entre 2009 et 2015. Ce plan a mobilisé 160 M€ pour le traitement des points noirs du bruit des transports terrestres et a permis de protéger 7 954 logements, dont 3 324 exposés au bruit routier et 4 630 exposés au bruit ferroviaire. Aujourd'hui, sur le volet du rattrapage des points noirs de bruit, la principale intervention de l'État concerne le réseau national, dans le cadre des contrats de plan État-Région. Des crédits ont ainsi été engagés pour des actions de lutte contre le bruit routier en 2015 (2,7 M€ dont 2,2 M€ part État) et en 2016 (19 M€ dont 13 M€ part État). Dans son rapport, Le CGEDD préconise qu'un mode de financement pérenne soit dégagé, sur le principe “pollueur-payeur”.

Dans un contexte budgétaire des plus contraints, la politique de lutte contre le bruit dans l'environnement doit trouver un nouveau souffle. En attendant une dotation à la hauteur de l'enjeu, la prise en compte du bruit dans les PCAET au niveau local revêt un intérêt stratégique : en complément des mesures classiques de protection contre le bruit (mur antibruit, isolation acoustique des façades, revêtement routier moins

<sup>7</sup> Guski. Annoyance and other health effects of transportation noise. Results from NORAH and WHO evidence review – 2017

<sup>8</sup> Analyse bibliographique des travaux français et européens – Le coût social des pollutions sonores – Mai 2016

<sup>9</sup> Réflexion prospective sur une politique de réduction des nuisances sonores – CGEDD – Octobre 2017

<sup>10</sup> Un point noir du bruit des transports terrestres correspond à bâtiment dont le niveau de bruit en façade est supérieur à 70 dB(A) le jour ou 65 dB(A) la nuit (68 dB(A) Lden le jour et 62 dB(A) Lden la nuit)

<sup>11</sup> Note du Cerema du 6 octobre 2015 à l'attention de la mission Bruit de la DGPR

1.3

## L'ARTICULATION ENTRE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT

### 1.3.1 De multiples points de convergence

En France, la combustion de carburants automobiles, la consommation d'énergie dans les bâtiments (résidentiel et tertiaire) et les activités industrielles sont les trois principales sources d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Par ailleurs, le trafic routier est le principal générateur de bruit dans l'environnement. Le transport routier et l'efficacité énergétique des bâtiments sont deux axes majeurs à privilégier pour lutter à la fois contre le changement climatique, la pollution de l'air et les nuisances sonores.

**A** - Le levier de la mobilité urbaine offre à lui seul de multiples points de convergence. Ainsi, les approches visant à inciter au renouvellement du parc roulant (zones à circulation restreinte, primes à la casse), sous le double effet des normes Euro et de la directive européenne sur la limitation du bruit des véhicules neufs, sont bénéfiques pour les quatre enjeux climat, air, énergie et bruit. Dans ce registre, les véhicules à motorisation électrique offrent un fort potentiel de co-bénéfices pour la réduction de la pollution atmosphérique (NO<sub>x</sub> surtout<sup>12</sup>) et du bruit à basse vitesse (en milieu urbain seulement hélas<sup>13</sup>). On constate aussi la très bonne synergie des mesures favorisant les modes actifs de déplacement, telles que l'incitation à la marche et au vélo ou les projets d'urbanisme à forte mixité entre logements, activités tertiaires et commerces. Outre leur forte synergie climat, air, énergie et bruit, ces mesures offrent un avantage supplémentaire : celui d'avoir un effet bénéfique direct sur la santé des populations<sup>14</sup>. Bien sûr, la convergence vaut aussi pour les actions de réduction à la source visant principalement à limiter le trafic de véhicules particuliers, pourvu qu'on respecte certaines conditions afin d'éviter les rétroactions négatives (augmentation de la vitesse liée à la fluidification du trafic par exemple).

**B** - Dans le secteur de la rénovation énergétique des logements, les retours d'expérience plaident pour une approche multicritères dépassant la seule prise en considération des performances thermiques. Une raison à cela : actuellement, le prix de l'énergie n'est pas suffisamment élevé pour entraîner une décision de rénovation sur le seul critère énergétique. L'acoustique, mais aussi d'autres paramètres relevant de la qualité d'usage du bâtiment (qualité de l'air intérieur notamment), pourraient être avantageusement invoqués par les équipes de maîtrise d'œuvre afin d'augmenter le taux de concrétisation des travaux. L'acoustique et la ventilation sont donc des critères de performance qui peuvent être avantageusement intégrés, ce qui implique que les acteurs de la rénovation travaillent différemment. Notamment, l'audit architectural et énergétique doit participer de cette vision globale. Sur le plan réglementaire, on peut souligner qu'un arrêté découlant de la loi de transition énergétique fixe des exigences acoustiques pour les bâtiments situés en zone de bruit et devant faire l'objet de travaux de rénovation importants : une évolution réglementaire au cœur du principe de convergence entre transition énergétique et confort sonore des logements !

**C** - Les actions relevant de l'aménagement urbain ne sont pas en reste. Exemple : les îlots de fraîcheur et les zones calmes offrent une convergence positive entre la nécessité de se protéger contre les aléas climatiques et la recherche d'un environnement sonore de qualité en ville. Or, le fait de favoriser la nature en ville (eau et végétal) s'impose comme le principal levier de lutte contre les îlots de chaleur urbains. Les actions de végétalisation (toitures, façades, voies de tram, écrans bas), bien qu'offrant des gains modestes de réduction du bruit et de la pollution, s'inscrivent dans le même registre de mesures à bonne synergie entre les enjeux climat, air, énergie et bruit.

**D** - Sur le sujet de l'évaluation des actions (diagnostic initial et suivi), il existe une corrélation entre les émissions sonores et de polluants atmosphériques (NO<sub>x</sub> en particulier) qui permet d'envisager une mise en commun profitable des données relatives à ces deux thématiques dans un SIG (cf. section 2.3.1, page 47) s'en trouvent facilitées.

<sup>12</sup> Pour les particules fines, le gain est limité par le phénomène, au passage des véhicules, de remise en suspension des fines poussières dues à l'abrasion des pneus et des freins et à l'usure de la chaussée

<sup>13</sup> À partir de 50 km/h environ, c'est le bruit du contact entre le pneu et la chaussée qui prend le pas sur le bruit du moteur

<sup>14</sup> La pratique quotidienne d'une activité physique constitue l'un des principaux facteurs de vie en bonne santé



### 1.3.2 Les bienfaits d'une approche transversale des enjeux

- **L'approche transversale des enjeux, facteur de meilleure compréhension des impacts territoriaux**

La réflexion globale permet d'éviter les risques d'effets négatifs d'un domaine sur un autre. Il est préconisé que le PCAET ne se conçoive pas comme une juxtaposition de plans d'actions sur les différentes thématiques climat, air et énergie. Traiter ces éléments de manière intégrée permet de favoriser les co-bénéfices et d'être vigilant quant aux effets négatifs potentiels. Il en est de même pour la problématique du bruit : celle-ci étant fortement influencée par les décisions prises en termes d'aménagement du territoire, de politiques des transports et autres vecteurs centraux des politiques publiques territoriales, elle ne peut pas être traitée efficacement si on la considère séparément. Une approche transversale, intégrant l'ensemble de ces thématiques, permet d'établir une hiérarchie entre les actions et de valoriser celles identifiées comme convergentes. En offrant la possibilité d'un travail amont sur les conditions de mise en œuvre, cette vision holistique contribue à prévenir les effets pervers. Cette démarche permet également de prendre en compte les bénéfices indirects : par exemple, la présence d'une zone calme peut favoriser un meilleur report modal vers les modes doux et ainsi contribuer à l'atteinte des objectifs liés à d'autres thématiques.

- **Les co-bénéfices renforcent la légitimité des actions**

Pour pouvoir pénétrer la sphère publique et convaincre les élus de passer à l'action, les politiques environnementales ont avantage à être gagnantes sur plusieurs thématiques à la fois. Dans un PCAET, aucune action miracle ne prédomine, il faut conjuguer des gains modestes pour obtenir un effet global substantiel. En prenant en compte le bruit dans certaines actions climat, air et énergie, des décibels "gratuits" peuvent être mis en évidence et venir renforcer la légitimité de ces mesures.

Dans la construction et la mise en œuvre d'un PCAET, en se positionnant dans une démarche de recherche systématique de bénéfices pour le bruit, il est possible de créer une réelle dynamique d'apaisement des niveaux sonores sur le territoire et de réduction des nuisances pour les habitants. Cette posture apporte des gains acoustiques à coût modéré et permet également de valoriser certaines actions auprès des publics concernés, en soulignant leurs avantages en termes d'amélioration des conditions de vie.

- **Le bruit, facteur supplémentaire d'adhésion et de mobilisation**

Les problématiques de la qualité de l'air et du bruit sont jugées plus concrètes et compréhensibles, par les citoyens et par les acteurs territoriaux, que celles liées au changement climatique.

Le guide PCAET de l'ADEME<sup>15</sup> précise à titre d'illustration que "les trois premiers critères d'attractivité d'une région, du point de vue de la qualité de vie, cités par les jeunes cadres et jeunes diplômés lors d'une enquête réalisée en 2011 par l'APEC12 sont :

- 1 - Un trajet domicile-travail court
- 2 - La nature et un cadre préservé
- 3 - Les conditions climatiques.

À l'inverse, le premier frein cité est "un cadre de vie dégradé (notamment par la pollution)."

Cette observation est à mettre en lien avec la phase de sensibilisation des PCAET, qui, selon les termes du guide ADEME, permet de "mobiliser les élus, les responsables de services et leurs équipes, les habitants et les acteurs du territoire pour que tous s'engagent dans le PCAET avec une vision partagée du territoire et de ses enjeux en termes : d'atténuation des émissions de GES, de production d'énergies renouvelables, de maîtrise des consommations d'énergie, d'adaptation au changement climatique et de lutte contre la pollution de l'air". Par l'intégration du bruit ou de la qualité de l'air, enjeux souvent mieux appréhendés et pour lesquels les efforts et résultats peuvent être visibles à plus court terme, la mobilisation, puis ensuite l'appropriation de la stratégie adoptée, s'en trouvent facilitées.

<sup>15</sup> PCAET : Comprendre, construire et mettre en œuvre – ADEME – Décembre 2016

### 1.3.3 Les similitudes et les différences entre les stratégies d'atténuation du bruit et les enjeux climat, air et énergie

#### • PCAET et PPBE : un socle commun

Les deux dispositifs – PCAET et PPBE – ont trop de points communs pour ne pas y voir une opportunité de faire jouer des synergies. Tout d'abord, ce sont deux politiques territoriales, confiées au même échelon de l'intercommunalité. D'un point de vue réglementaire, les porteurs obligés des PCAET sont les EPCI à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants. Pour le bruit, les infrastructures et agglomérations concernées par la production d'une carte de bruit et d'un PPBE sont :

- 1 - les EPCI de plus de 100 000 habitants,
- 2 - les infrastructures routières et autoroutières dont le trafic annuel est supérieur à 3 millions de véhicules (soit un TMJA<sup>16</sup> de 8 220 véhicules/jour),
- 3 - les infrastructures ferroviaires dont le trafic annuel est supérieur à 30 000 passages de trains (soit un TMJA de 82 trains/jour),
- 4 - les grands aéroports de plus de 50 000 mouvements par an.

La périodicité des documents est assez similaire : 6 ans pour les PCAET (avec rapport public à 3 ans) et 5 ans pour les PPBE, sur la base des cartes de bruit diffusées un an auparavant. Au-delà du fait que ces documents coexistent sur certains territoires, leur construction comporte des étapes assez similaires : une étape préalable de recensement et d'analyse des données et des études existantes, des diagnostics territoriaux (via les cartes de bruit pour le PPBE), l'élaboration d'un plan d'action, incluant une réflexion sur les éléments de mise en œuvre, de suivi et d'évaluation.

Les deux documents présentent de surcroît une phase de diagnostic dont le rapprochement peut être pertinent (un développement détaillé de cette question est disponible en section 1.4.1, page 18). Une mutualisation des démarches est en effet possible pour les collectivités. De même, un enrichissement des réflexions transversales via l'association de divers acteurs et méthodes est possible sur certaines problématiques fortement liées.

Parmi les leviers d'actions mentionnés dans les guides consacrés tant aux PCAET qu'aux PPBE, certains permettent également une approche combinée. Au niveau des actions portant sur la mobilité, par exemple, le PCAET doit permettre la mise en place de mesures dans le PDU qui réduisent le bruit tout en convergeant avec la réduction de la consommation d'énergie et la réduction des émissions de polluants. C'est le cas des mesures de modification du trafic (vitesse, composition, débit, transfert modal, etc.). Le guide ADEME pour "l'élaboration des Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement"<sup>17</sup> illustre bien la façon dont la thématique du bruit s'articule avec les autres thématiques et politiques présentes sur le territoire : "En conclusion, si l'on prend un peu de recul sur toutes ces mesures [mesures liées au bruit routier mentionnées dans le guide], on constate que la composante acoustique n'est souvent qu'un motif secondaire de mise en œuvre des mesures, mais qu'il peut y avoir convergence entre la thématique "acoustique" et d'autres thématiques très actuelles comme la qualité de l'air ou encore la sécurité routière. La modération des vitesses qui apparaît comme une des mesures les plus efficaces ou la fréquentation des transports en commun sont deux bons exemples".

Par ailleurs, PPBE et PCAET comportent chacun une démarche d'évaluation et de suivi, étapes qui peuvent également être mutualisées sur certains aspects. Parmi les indicateurs communs qui peuvent être pris en compte dans cette démarche, on retrouve notamment les notions d'ambiance et de perception, ainsi que l'observation de la variation des usages sociaux et des comportements. Une analyse croisée des indicateurs définis dans le cadre du suivi du PCAET et de celui du PPBE permettrait l'identification d'indicateurs de suivi communs aux actions du PCAET et à celles du PPBE. Le rapprochement des suivis permettrait alors de mutualiser une partie des enquêtes, des mesures, des simulations et des analyses.

La question de l'évaluation ex ante des impacts air-bruit pour les projets d'aménagement a été ainsi le sujet de nombreux échanges avec les lauréats de l'Appel à manifestation d'intérêt lancé par l'ADEME. Ces territoires ont exprimé un besoin pour des outils.

<sup>16</sup> Trafic moyen journalier annuel, soit la moyenne annuelle de la circulation journalière (24h) des véhicules sur un axe donné

<sup>17</sup> Guide pour l'élaboration des Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement – ADEME – 2008



Les logiciels de simulation en trois dimensions peuvent notamment s'avérer intéressants pour certains projets spécifiques. Des bureaux d'études et également certaines Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) - PACA, Hauts-de-France notamment se sont emparés de ces approches et commencent à proposer des modélisations 3D spécifiques dans le cadre des études d'impact de projets d'aménagement. Tous ces sujets sont étudiés en lien avec le développement du BIM (modélisation des données du bâtiment/maquette numérique). Par ailleurs l'ouverture des données de consommation énergétique à l'échelle des bâtiments depuis la fin de l'année 2017, engendre actuellement des réflexions quant aux travaux visant à intégrer ces éléments. Enfin, le PPBE a, de manière similaire au PCAET, un rôle de sensibilisation et d'éducation. La construction d'un discours structuré peut donc être mutualisé et servir dans ces deux démarches de planification. Dans les PCAET et les PPBE (et dans la promotion de ces documents), il s'agit d'alerter sur les coûts de l'inaction face à la pollution de l'air et face à la pollution sonore, de manière croisée, afin de mettre en avant les mesures et les approches combinées air-bruit et d'inciter à leur mise en place. L'ensemble des éléments liés à la qualité de vie serait alors à valoriser au sein de cette même démarche. La sensibilisation doit également se faire au sein des services : il est en effet utile que les agents soient capables d'appréhender les effets de la pollution atmosphérique et des nuisances sonores sur la santé (la sensibilisation relative à la pollution atmosphérique en lien avec les dispositifs d'information en cas de pic de pollution est un bon exemple). Cela afin de les responsabiliser et de leur permettre de diffuser de l'information et d'être porteurs des messages et des bonnes pratiques identifiées sur ces sujets.

Parmi les actions liées aux transports typiquement mises en œuvre dans un PCAET, on peut distinguer les actions dites "préventives" et les actions dites "curatives". Les actions préventives sont les actions qui consistent à agir sur la source : sur le trafic ou sur les émissions des véhicules (renouvellement du parc automobile, zones à circulation restreinte). Ce registre d'action à la source est plus satisfaisant pour traiter le bruit que les actions curatives (murs antibruit, merlons, enrobés moins bruyants), mais il présente l'inconvénient de n'apporter

des effets qu'à un horizon de moyen ou long terme. Dans un PPBE, les actions curatives permettent quant à elles de prendre en considération l'urgence de la situation des populations les plus exposées (les 850 000 logements répertoriés comme point noirs du bruit). Mise à part l'isolation de façade, qui offre des possibilités de convergence entre acoustique, efficacité énergétique et qualité de l'air intérieur (QAI), ces mesures offrent peu d'opportunité de co-bénéfice avec les enjeux climat, air et énergie. On signalera tout de même le bitume antibruit et anti-chaleur expérimenté à Paris. Ainsi que le projet de mur antibruit photovoltaïque et neutralisateur de NO<sub>x</sub> en cours d'étude à Lille (quartier Concorde).

- **Le bruit : ses spécificités par rapport aux GES et aux polluants atmosphériques**

#### Spécificités spatiales

Le climat est un enjeu planétaire, le bruit est un enjeu de proximité, la qualité de l'air et l'énergie sont des enjeux relevant tant de l'échelon local que territorial. Le bruit se disperse avec une moindre ampleur que la pollution atmosphérique. Ainsi le bruit a un impact à proximité d'un axe circulé, et dès que l'on s'en éloigne, le bruit ne présente généralement pas de danger sanitaire particulier, contrairement à la pollution atmosphérique de fond, qui peut être problématique.



### Spécificités liées aux impacts sanitaires

Pour la pollution, il n'y a pas de seuil d'exposition en dessous duquel aucun effet sanitaire n'existe. Chaque épisode de pic de pollution nous donne conscience de l'enjeu de la dégradation de la qualité de l'air, mais c'est la pollution de fond, l'exposition quotidienne, chronique, qui est responsable des décès. Alors que pour le bruit, on dispose de courbes dose-réponse qui montrent qu'en dessous de certains niveaux de bruit, selon le contexte, pratiquement personne ne ressent de gêne.

### Spécificités liées à la perception

La réduction des émissions de polluants atmosphériques avec le trafic est globalement linéaire (si on suppose les modifications homogènes sur le parc et qu'on néglige les impacts sur les conditions de circulation) ; alors qu'avec le bruit, dont la perception suit une loi logarithmique, quand on réduit le trafic de 20 %, on gagne seulement un décibel, ce qui est à la limite du perceptible. En revanche, si l'on reporte ces 20 % sur un axe moins circulé, et que l'on double le trafic, le changement (+ 3 dB car l'on double le trafic) risque d'être perçu comme gênant. Qui plus est, la gêne n'est que partiellement corrélée au niveau sonore moyen, c'est l'émergence – c'est-à-dire la différence entre le bruit perturbateur et le bruit de fond ambiant – qui le plus souvent explique la gêne. Conséquence : les actions ne peuvent se résumer à se fixer pour un unique objectif de réduire le niveau moyen du bruit ambiant. Par exemple, le remplacement de deux voies routières par une voie de tramway se traduira par une réduction du bruit moyen sur la journée ; mais le passage des trams, notamment aux petites heures du matin, sera potentiellement source de gêne sonore.

Ainsi, le bruit perturbe le sommeil, or le repos nocturne est indispensable pour un bon état de santé. On estime que la traversée d'une grande agglomération par un véhicule particulièrement bruyant à 4 heures du matin peut réveiller jusqu'à 200 000 personnes ; le même véhicule en plein jour est nettement moins gênant. De plus, quand le bruit s'arrête, c'est instantané, alors qu'avec la pollution atmosphérique, même quand la source cesse d'émettre des polluants, la pollution persiste dans le temps (avec une durée fonction de la nature des polluants et des conditions météorologiques).

### • Des convergences naturelles, mais pas systématiques

Pour des raisons de compensation, ou de report éventuel de trafic, l'évaluation d'actions portant sur une nuisance locale telle que le bruit peut s'avérer complexe à l'échelle d'un territoire métropolitain. Ainsi, les actions à portée locale (vitesse limite sur un tronçon, ligne TC) ont des impacts certains qui sont limités à l'échelle du tronçon ou du quartier. Leur évaluation n'a de sens que spatialisée, à échelle d'une métropole. La recherche d'actions convergentes est donc confrontée à ces disparités spatiales.

L'autre difficulté inhérente à la recherche d'actions bénéfiques pour le bruit tient à la temporalité des actions : les solutions de traitement à la source comme le renouvellement du parc automobile sont des mesures de longue haleine, alors qu'avec le bruit, ce qu'attendent les populations fortement exposées, ce sont des solutions de court terme (mur antibruit, enrobé moins bruyant...). L'isolation de façade répond à cet impératif d'immédiateté, et peut, si l'on s'y prend bien, offrir l'avantage de co-bénéfices énergie, bruit et QAI ; mais cette solution présente l'inconvénient d'obliger à garder les fenêtres fermées.

Dans le secteur des transports, les convergences entre les enjeux de la qualité de l'air et du bruit sont la plupart du temps "naturelles", mais pas systématiques. Prenons l'exemple de la réduction de la vitesse sur les axes routiers. Cette action a un effet plutôt positif sur les émissions de particules et d'oxydes d'azote, mais le gain vaut surtout quand les vitesses sont élevées (supérieures à 70 km/h). La réduction de la vitesse se traduit aussi par un moindre impact sonore de l'infrastructure, mais de manière plus limitée. En zone urbaine, la limitation de vitesse est parfois contreproductive, tant pour la qualité de l'air – le passage de 50 km/h à 30 km/h pourrait s'accompagner d'une augmentation de 40 % des émissions de NO<sub>x</sub> –, que pour le bruit – dès lors que la fluidité du trafic est contrariée.

Renforcer les performances acoustiques d'un silencieux d'échappement peut avoir pour effet d'alourdir le véhicule et ainsi augmenter sa consommation et son impact environnemental. Autre exemple d'effet antagoniste : des pneus moins larges réduisent les bruits de roulement, mais entraînent aussi des freins plus petits et une adhérence diminuée, ce qui peut avoir des implications sur la sécurité routière...



À Paris, ville fortement engagée dans la recherche d'alternatives à l'automobile individuelle, les gains pour la qualité de l'air et le bruit ont été partiellement réduits par un phénomène de report modal vers le deux-roues motorisé, mode de déplacement cependant plus bruyant que les automobiles. Autre exemple, le fret ferroviaire, qui présente certains avantages pour diminuer la pollution atmosphérique. Mais la question de la maîtrise des nuisances sonores, notamment nocturnes, représente un véritable défi pour le développement du fret ferroviaire.

Dans le domaine de l'aménagement urbain, par exemple dans la création d'un nouveau quartier, les concepteurs se trouvent fréquemment confrontés au compromis délicat entre une composition urbaine favorable à l'environnement sonore mais défavorable à l'ensoleillement des façades ou au bon écoulement de l'air... ou l'inverse. Un climat plus chaud va par ailleurs nécessiter d'adapter les horaires de certains chantiers de travaux publics ou de couverture. Mais avancer par exemple le début d'une journée de travail à 5 heures du matin n'est pas sans poser des problèmes de bruits de voisinage. Certains antagonismes font que la cohérence entre les enjeux n'est pas toujours possible. S'impose donc le besoin d'une hiérarchie contextualisée entre la réduction énergétique, l'air, le climat et le bruit. Or, dans les collectivités, le fait que les politiques soient souvent menées localement de manière sectorielle ne facilite pas les arbitrages nécessaires aux différents stades des projets. Le "penser global" est bien connu, mais il est parfois difficile à employer sans outil simple permettant de l'appliquer sereinement dans les projets, au bon moment. L'une des difficultés de la démarche tient donc à l'organisation de cette hiérarchie, qui nécessite une méthodologie adaptée. Les outils proposés en section 2 et les fiches de recommandations de la section 3 constituent des propositions structurantes d'aide à l'objectivation de ces priorités.

### 1.3.4 Gouvernance : comment diffuser et partager la compétence bruit ?

La gouvernance et le pilotage sont des facteurs clés du succès de l'intégration du bruit dans les PCAET. Le caractère transversal souhaité des PCAET demande un effort de coordination de la part des

différents acteurs impliqués. Que les compétences soient internes à la collectivité ou externalisées, cette collaboration permet d'agréger les connaissances et les compétences variées de chacun. Cette coordination peut être grandement favorisée par l'appropriation des enjeux par l'ensemble des acteurs. En sensibilisant les différents services des collectivités territoriales aux enjeux liés au bruit, on favorise l'adhésion, tout en permettant la montée en compétence sur le sujet. Cette acculturation est notamment nécessaire pour dialoguer avec les éventuels prestataires et porteurs de projets rencontrés.

#### • Comment organiser la démarche en interne ?

La prise en compte de la problématique du bruit s'appuie dans un premier temps sur l'identification des services concernés. Il s'agit ensuite d'organiser au mieux la circulation et le partage de l'information pertinente auprès des différents acteurs afin de favoriser la prise de conscience des impacts sur le bruit de leurs champs d'actions respectifs. L'expérimentation initiée par l'ADEME a d'ailleurs mis en avant le besoin d'éléments de type "porter à connaissance" à l'attention des différents services, en lien avec les actions "classiques" que l'on peut retrouver dans les PCAET, afin d'avoir une vision rapide des enjeux bruit existants. Au-delà de l'identification de la présence ou non de la problématique bruit dans le périmètre de l'action, il s'agit de disposer d'éléments et de recommandations permettant de privilégier les bonnes conditions de mise en œuvre vis-à-vis du bruit. C'est notamment ce type de ressource et de porter à connaissance qui permet d'identifier les co-bénéfices possibles et de les favoriser, ainsi que d'éviter les effets pervers et contreproductifs. Il semble alors important d'organiser la gouvernance afin que les référents des PPBE (et de la problématique bruit plus généralement), les agents de la direction du développement durable ou d'autres acteurs spécifiques, portent ce rôle de communication et de mise à disposition de ressources sur le bruit afin que cet enjeu soit mieux appréhendé par l'ensemble des agents et des services. Un retour d'expérience positif issu de la Ville de Reims mentionne par exemple un bon niveau de collaboration entre les agents territoriaux chargés respectivement du PCAET et du PPBE, qui appartenaient tous deux à la Direction du développement durable.

### 1.3.5 Comment articuler les PPBE et PCAET avec les outils de planification et les documents d'urbanisme ?

Comme le rappelle le guide ADEME "PCAET comprendre, construire et mettre en œuvre", les documents d'urbanisme - Schéma de cohérence territoriale (SCoT), Plan Local d'urbanisme (PLU), Plan Local d'urbanisme Intercommunal (PLUi) constituent un levier essentiel de mise en œuvre du PCAET. C'est aussi vrai pour le PPBE. Ces dispositifs doivent "permettre d'ancrer et de pérenniser les ambitions", par exemple, via un renforcement des secteurs à hautes performances énergétiques et environnementales dans les règlements d'urbanisme.

Le bruit est encore peu intégré dans la planification et l'aménagement urbains. Par son incorporation au référentiel des PCAET, et notamment grâce à sa bonne synergie avec la qualité de l'air, le bruit pourrait bénéficier d'opportunités d'être davantage pris en compte dans la planification urbaine.

Une vigilance particulière est donc nécessaire sur la cohérence entre PCAET et PPBE d'un côté et l'ensemble des documents encadrant l'action des collectivités - SCoT, PLU/PLUi, PDU, Programme Local de l'habitat (PLH). Pour plus d'efficacité et de clarté, la loi de transition énergétique a d'ailleurs modifié les règles d'interaction entre ces documents.

Une démarche novatrice d'articulation entre quatre outils réglementaires de planification - PLH, PDU, PLUi, et PCET - a été mise en place à **Brest Métropole** par exemple.

Le guide PCAET résume en ces termes les bénéfices identifiés de la démarche : "Elle a permis de diffuser la sensibilité climat-énergie au sein des différents services puis dans les documents d'urbanisme. L'articulation entre le plan climat et le PDU a établi une cohérence entre le système de transport et les objectifs de mobilité alternative. L'articulation avec le PLH a quant à elle permis d'accélérer le rythme annuel des rénovations thermiques des logements."

De façon similaire, il est mentionné dans le guide de l'ADEME sur les PPBE que celui-ci peut "proposer aux collectivités en charge des SCoT et des PLU des outils pour favoriser la prévention des nuisances sonores dans les zones que la carte de

bruit stratégique aura classées comme affectées par le bruit".

En témoigne l'existence du guide "PLU et Bruit, la boîte à outils de l'aménageur"<sup>18</sup> dont le but est d'identifier les opportunités de prise en compte des nuisances sonores présentes dans le PLU. Les PPBE étant finalement des documents d'orientation, les actions préventives définies par le PPBE doivent nécessairement trouver leur traduction dans les SCoT et les PLU afin que le bruit soit effectivement pris en compte le plus en amont possible des décisions d'aménagement.

L'intérêt de rechercher des complémentarités au sein des démarches entreprises dans les PCAET, les PPBE et les documents d'urbanisme, vient également des similitudes présentes au niveau de l'évaluation. En effet, désormais, les PCAET, comme les documents d'urbanisme, sont soumis à une évaluation environnementale stratégique (EES)<sup>19</sup>. L'EES est un processus progressif et itératif qui doit aider à l'intégration des enjeux environnementaux dans l'élaboration du PCAET, en appliquant le principe "éviter, réduire, compenser". La prise en compte du bruit lors de l'élaboration de la stratégie et des actions, en recherchant les synergies et en évitant les antagonismes potentiels, contribue donc à répondre aux objectifs de cette obligation réglementaire. Cette question pourrait être traitée via l'intégration, au stade de l'évaluation des actions du PCAET, d'indicateurs spécifiques au bruit (qui pourront être tirés des PPBE et Cartes stratégiques de Bruit (CSB), tels que le nombre d'habitants exposés).

#### • Le cas particulier du PDU

Le PDU est l'outil central des politiques et des actions sur la mobilité et le transport. Les PCAET et PPBE s'articulent donc autour de ce document pour traiter de cette thématique très largement prépondérante pour la question croisée de l'énergie, de la pollution atmosphérique et du bruit. Les deux plans fixent des orientations générales et prévoient des actions qui doivent ensuite se traduire de manière opérationnelle dans le PDU. Le secteur des transports et les orientations générales liées à la mobilité permettent de nombreuses synergies en termes de réduction des consommations, des émissions de GES, des émissions de polluants et de réduction des

<sup>18</sup> Plan Local de l'Urbanisme et Bruit - La Boîte à outils de l'aménageur - Pôle de compétence bruit de l'Isère - 2004

<sup>19</sup> Le PCAET est soumis à l'obligation d'évaluation environnementale en application de l'article R.122-17 du code de l'environnement.



nuisances sonores. Il faut par conséquent que ces orientations et les préconisations inscrites dans les PCAET et PPBE soient élaborées avec les acteurs responsables du plan d'action du PDU pour s'assurer de leur bonne mise en œuvre. Les actions présentant des synergies, air-climat-bruit doivent ensuite être bien mises en avant dans les PCAET et PPBE. [Voir à ce sujet au chapitre 3, le cas concret "Évaluation des effets acoustiques du PDU de l'agglomération grenobloise", page 26]

## 1.4

## LES MODALITÉS DE PRISE EN COMPTE DU BRUIT À CHAQUE ÉTAPE D'ÉLABORATION D'UN PCAET

La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) dicte une exigence de cohérence entre les politiques publiques du climat, de l'air et de l'énergie. Intégrer les volets climat, air et énergie au sein d'une démarche unique permet de caractériser finement le territoire et de mener une stratégie territoriale intégrée favorisant les synergies et évitant autant que possible les antagonismes. C'est cette même approche que nous préconisons pour la prise en compte du bruit dans les PCAET, mais avec une vigilance sur la nécessité de ne pas complexifier l'analyse. À ce titre, on prendra soin d'adapter la finesse des évaluations (choix des indicateurs) aux objectifs recherchés. Dans la majorité des cas, on pourra se contenter d'identifier les conditions de la convergence.

### 1.4.1 S'appuyer sur l'état des lieux dressé dans le cadre du PPBE pour le diagnostic bruit

Les PCAET et PPBE présentent une phase de diagnostic préalable aux propositions d'actions (le diagnostic et la description des états initiaux sont également nécessaires pour le suivi des actions mises en place). Les diagnostics des PPBE sont issus des cartes de bruit stratégiques qui sont destinées à "fournir une représentation graphique des sources de bruit, de leur propagation et au final de l'exposition des populations"<sup>20</sup>. Les modalités d'un rapprochement entre les diagnostics relatifs aux émissions de polluants des

PCAET et ceux des émissions sonores des PPBE sont donc à étudier (les deux étant fortement dépendants des trafics, de leur intensité, de leur composition et des vitesses) afin de préciser par exemple :

- Quelles sont les données communes aux deux diagnostics et comment interagissent-elles aujourd'hui ?
- Quelles méthodologies de quantification sont employées : similitudes et divergences dans les échelles, les incertitudes des simulations ?
- Quels sont les acteurs engagés et comment interagissent-ils ?

Les réponses à ces questions peuvent apporter des éléments permettant une mutualisation des démarches pour les collectivités et enrichir les réflexions transversales en associant divers acteurs et méthodes. Quelques expérimentations et premières initiatives pour faire converger la prise en compte simultanée des enjeux acoustiques et qualité de l'air ont notamment été relevées. L'analyse croisée Qualité de l'Air et Bruit sur **la ville de Lille** en est un exemple : "Le croisement des informations relatives aux dépassements des valeurs limites pour les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>, avec les informations relatives aux dépassements de seuils pour les bruits routiers et ferrés permet d'avoir dans un premier temps, une vision des territoires en dépassement simultané des valeurs limites pour les polluants atmosphériques et des seuils pour le bruit, et dans un second temps d'identifier les habitations et les établissements sensibles qui sont impactés par ce double dépassement. [...] Pour chaque zone à enjeux, il est possible de déterminer le nombre d'habitations, d'habitants et d'établissements sensibles en double dépassement de seuils air et bruit qui sont pris en compte dans la zone à enjeux. Nous sommes alors en mesure de hiérarchiser les zones à enjeux pollution atmosphérique - bruit afin de prioriser les actions à mettre en œuvre".

### 1.4.2 Intégrer le bruit dans la stratégie territoriale : s'inspirer de l'exemple de la qualité de l'air

Même si le bruit ne fait pas l'objet d'une intégration au sens réglementaire, l'intégration de la qualité de l'air dans les PCAET constitue une démarche fortement similaire sur laquelle il est pertinent de s'appuyer. Le guide de l'ARENE

<sup>20</sup> Comment réaliser les cartes stratégiques de bruit en agglomération ? – Certu – 2006

et d'AIRPARIF<sup>21</sup> "Intégrer la qualité de l'air dans les Plans Climat, Air, Énergie Territoriaux" présente des recommandations techniques et stratégiques pour l'intégration de la qualité de l'air dans les démarches PCAET, en cherchant à être "pragmatique et au plus près des questionnements des territoires". Ce document constitue une ressource très pertinente pour illustrer l'intégration d'une thématique nouvelle au sein des différentes démarches présentes dans les PCAET.

### 1.4.3 Identifier les actions dans lesquelles le bruit peut être intégré

Le plan d'action du PCAET n'a pas vocation à intégrer des actions spécifiquement liées au bruit. Cependant, comme cela a été présenté auparavant, il est possible d'agir contre les nuisances sonores à travers les actions du PCAET. Cela se traduit par la prise en compte de ce critère dans les modalités de définition, de mise en œuvre et de hiérarchisation des actions. L'intégration volontaire du bruit doit permettre de se placer dans une posture de co-bénéfice, simplement en menant une réflexion en amont permettant d'identifier les synergies et les bonnes conditions de mise en œuvre.

Si l'on s'intéresse au secteur résidentiel, c'est à travers la rénovation énergétique, enjeu actuel fort qui bénéficie de financements, qu'une entrée vers la problématique bruit est possible. Il s'agit de profiter de la dynamique actuelle de rénovation thermique des logements pour renforcer la composante acoustique des opérations, voire massifier les rénovations acoustiques. À noter que les aspects techniques de cette articulation bruit et énergie dans le bâtiment bénéficient d'une documentation spécifique<sup>22</sup>.

L'intégration du bruit peut alors se traduire par la formalisation et la structuration, au sein du PCAET, de la montée en compétence "bruit" des plateformes énergétiques, des agences locales de l'énergie et autres structures intervenant dans le conseil et l'accompagnement des ménages dans la rénovation de leur logement. L'introduction de critères de performances acoustiques dans l'attribution des aides locales et le financement des travaux, la formalisation d'indicateurs croisés de performances énergétiques et acoustiques (et

de qualité de l'air intérieur), sont également des leviers permettant de renforcer l'intégration du bruit dans les démarches PCAET. **Dunkerque Grand Littoral** a initié ce type de démarche dans le cadre de ses programmes Prev'Bruit et Reflex Énergie (cf. section 3.3.1 page 145).

Un des objectifs clairement affichés dans les PCAET est de lutter contre la précarité énergétique. Cela passe par un repérage et un accompagnement des ménages en situation de précarité énergétique. Un autre rapprochement est ici à réfléchir : ces ménages sont susceptibles d'être également dans des situations de vulnérabilité forte aux nuisances sonores du fait de la vétusté de leur logement et parfois des niveaux d'exposition plus importants de certains quartiers. Il serait alors pertinent de rapprocher les dispositifs et les démarches qui visent à réduire le nombre de ménages exposés à la précarité énergétique avec ceux visant la réduction des nuisances sonores (opérations de résorption des points noirs du bruit par exemple) : mutualisation des dispositifs d'aides et d'accompagnement, optimisation des visites et des interventions, rapprochement des méthodes d'identification des ménages précaires... Autant d'exemples qui permettent de se placer dans une posture de co-bénéfice.

L'impact sur le bruit peut également être un critère utilisé dans la définition d'ordres de priorité des actions. En effet, les collectivités doivent se fixer des priorités et hiérarchiser les actions sur la base de différents critères : degré d'efficacité, coût global de l'action, difficultés éventuelles de mise en œuvre, articulation avec les stratégies portées par la collectivité, etc. Dans une approche similaire à celle de la qualité de l'air qui s'intéresse à l'exposition des populations, le bruit et les personnes exposées peuvent représenter un critère complémentaire.

<sup>21</sup> Intégrer la qualité de l'air dans les Plans Climat, Air, Énergie Territoriaux – Cahier technique – Novembre 2017

<sup>22</sup> Guide ADEME/CIDB – Rénovation énergétique, confort acoustique et qualité de l'air en habitat individuel – 2016



## 2 LES MÉTHODES ET LES OUTILS

2 <sup>1</sup>	LES NOTIONS ESSENTIELLES D'ACOUSTIQUE ENVIRONNEMENTALE	21
2 <sup>2</sup>	LES DÉMARCHES POUR L'ÉVALUATION DES GAINS ACOUSTIQUES D' ACTIONS CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT	23
2 <sup>3</sup>	LES OUTILS ET RETOURS D'EXPÉRIENCE : DES DIAGNOSTICS CROISÉS ET DU SUIVI DES ACTIONS	47

### Des outils et méthodes au service des collectivités

Acoustique environnementale... les formules peuvent sembler complexes pourtant des explications permettent aujourd'hui aux architectes, aux urbanistes, aux élus... d'aborder cette thématique plus aisément.

Grille d'évaluation qualitative, méthode de l'arbre des conséquences, Évaluation d'Impact en Santé (EIS), Évaluation Quantitative de Impacts/Risques sanitaires (EQIS/EQRS), estimation des DALY, Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU<sub>2</sub>), diagnostics croisés, cartographie cumulative, modélisation numérique 3D... sont autant d'outils et méthodes à disposition des collectivités pour faire converger les actions contre le bruit avec celles pour le climat, l'air et l'énergie.

Ils permettent ainsi aux collectivités de développer une vision globale qui leur permettra de dresser des priorités et de disposer d'arguments pour convaincre les services de travailler de manière transversale, et aussi la population dont les préoccupations sont d'autant mieux intégrées dans les politiques menées.

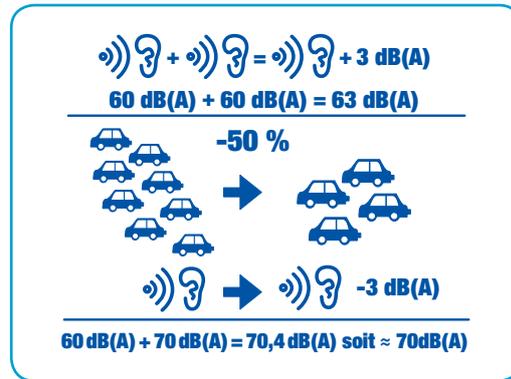
2.1

**LES NOTIONS ESSENTIELLES  
D'ACOUSTIQUE  
ENVIRONNEMENTALE**

Les lignes qui suivent apportent quelques notions essentielles qui devraient permettre au lecteur d'aborder le reste du document avec une bonne compréhension des problèmes sans besoin de sonomètre.

**A - Physique**

Le bruit est-il une modification de la pression de l'air ? L'air est-il compressible ? Oui et c'est pour cela que le contact entre un pneu et la chaussée est source de bruit : l'air comprimé dans la sculpture du pneu résiste à la compression et, s'échappant, crée une surpression. Le Pascal pourrait donc être une unité possible pour mesurer le bruit. Mais entre le seuil de l'audition et le bruit maximum que notre oreille peut supporter, l'utilisation du Pascal demanderait 20 millions d'unités. Beaucoup trop compliqué ! Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les laboratoires Bell proposèrent d'utiliser une unité plus simple, une échelle de 120 degrés entre les deux seuils évoqués plus haut : le décibel. Lequel obéit aux règles de calcul des logarithmes décimaux. Loin de leur faire peur, ces derniers sont la chance des urbanistes par les facilités qu'ils offrent : doubler une source sonore, c'est le niveau sonore de cette source additionné de 3 dB(A). La diviser par 2, c'est enlever 3 dB(A). Doubler le trafic automobile dans une rue, c'est augmenter le bruit dans cette rue de 3 dB(A). Enlever 50 % du trafic automobile revient à enlever 3 dB(A) au volume sonore primitif. Quand deux bruits différents d'une différence de niveau de 10 dB(A) se font entendre simultanément, le plus faible des deux est masqué par le plus grand :  $60\text{dB(A)} + 70\text{dB(A)} = 70,4$  (soit environ  $\approx 70\text{dB(A)}$  !). Quand le dB est suivi d'un A entre parenthèses – dB(A) –, cela signifie que l'on a pondéré la réalité physique de la variation de pression. Notre oreille entend mal les graves et les aigus. La pondération "A" intervient pour faire correspondre la mesure du sonomètre à la perception humaine. Quelques points de repère : 0 dB(A) est le seuil de détection de notre oreille, 120 dB(A) le seuil de la douleur, 20 à 30 dB(A) c'est une nuit calme en campagne, 60 à 65 dB(A) c'est l'environnement sonore moyen en ville, mais 70-75 dB(A) celui d'une autoroute ou d'un boulevard urbain très circulé.



**B - Perception**

Par ailleurs, une variation de niveau sonore inférieure à 2 dB(A) passera quasiment inaperçue. Il faut au moins 3 dB(A) de différence entre deux sons pour que la différence soit perçue (il faut doubler le trafic automobile d'une rue, ou le diviser par deux, pour que notre oreille remarque la différence de bruit). Cette différence sera nette à partir de 6 dB(A). Une augmentation de 10 dB(A) correspond dans le langage commun à l'expression : il y a deux fois plus de bruit !

**C - Éloignement**

La même facilité dans le calcul apparaît pour estimer les atténuations du bruit avec la distance. Une source de bruit ponctuelle (un marteau piqueur ou une moto à l'arrêt) verra son niveau sonore décroître de 6 dB(A) par doublement de distance (par exemple : 60 dB(A) à 1 mètre, 54 dB(A) à 2m, 48 dB(A) à 4m, 42 dB(A) à 8m, etc.). Si la source est dite linéaire (un train ou une file de voiture) l'atténuation ne sera plus que de 3 dB(A) par doublement de distance (par exemple : 60 dB(A) à 1 mètre, 57 dB(A) à 2m, 54 dB(A) à 4m, 51 dB(A) à 8m, etc.).

**D - Statistique**

Enfin les niveaux de bruit en ville varient en permanence. L'acousticien se transforme alors en statisticien : il parlera des niveaux de bruit dépassés 50 % du temps (L50) ou des niveaux dépassés 5 % du temps (L5) ou des niveaux dépassés 90 % du temps (L90, soit le bruit de fond). Il parlera surtout de la moyenne énergétique des niveaux de bruit soit le Leq (Level Équivalent). La réglementation nationale retient cet indicateur pour fixer des seuils à ne pas dépasser.



### E - Matériaux

L'acousticien urbaniste s'attarde sur la nature des matériaux : ils peuvent être réfléchissants ou absorbants. En ville, les parkings, les chaussées, les trottoirs, les vitrines sont autant de surfaces réfléchissantes qui augmentent les niveaux de bruit en créant des sources "images" de la source à l'origine du bruit. Ainsi dans les rues étroites, l'accroissement du nombre des sources de bruit à la suite des réflexions multiples, pourra contrebalancer l'atténuation du bruit par la distance, ce qui peut se traduire par des niveaux de bruit aussi élevés dans les étages qu'au rez-de-chaussée. À l'inverse, des matériaux absorbants ou des surfaces végétalisées contribuent à réduire les niveaux. Le fait de végétaliser les façades ou les espaces publics, de multiplier les espaces verts, peut dans certains cas constituer une solution acoustique. De même, au niveau des chaussées, l'utilisation d'enrobés innovants se traduit par une atténuation des niveaux sonores au passage des véhicules (au-delà de 50 km/h).

### F - Architecture et aménagement

Un autre levier à disposition de l'architecte urbaniste consiste à créer des obstacles à la propagation du bruit. Attention cependant à l'effet

de diffraction au sommet de l'écran acoustique qui diffuse tout de même une relativement faible quantité de bruit derrière l'écran. On admet généralement qu'on peut négliger la part de bruit qui passe à travers l'obstacle, par rapport à la part diffractée, dès lors que la masse surfacique du matériau constitutif de l'obstacle est au moins de 20 à 30 kg/m<sup>2</sup>. Ceci en vertu du fait qu'une différence de 10 dB(A) entre deux niveaux de bruit suffit à ce que l'on ne considère que le plus élevé des deux niveaux de bruit. Il faudra donc que le bruit diffracté derrière l'obstacle soit supérieur de 10 dB(A) à celui qui traverse cet obstacle. D'où une utilisation judicieuse du volume des constructions pour diminuer les niveaux de bruit en façade des appartements : balcons avançant sur la rue, étages en retrait les uns par rapport aux autres, bâtiments commerciaux jouant le rôle de "murs antibruit", écrans acoustique, etc.

De la même façon, l'architecte oriente les façades de ses immeubles : à 90° par rapport à la rue, une façade recevra 3 dB(A) de moins que si elle en est parallèle. Plus de 10 dB(A) d'atténuation, si la façade tourne le dos à cette rue.

Si l'on fait bon usage de ces quelques notions pour "dégrossir" les projets, on ne peut pas se passer *in fine* de l'acousticien pour préciser et affiner le projet.

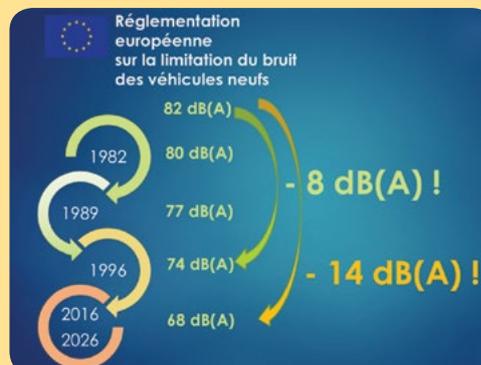
## FOCUS

### Y A-T-IL PLUS DE BRUIT ROUTIER QU'AVANT ?

Sous l'impulsion des directives européennes, les constructeurs de véhicules ont considérablement amélioré les performances sonores des automobiles. Mais en parallèle, le parc de véhicules a connu une progression vertigineuse, si bien que les gains sont peu perceptibles.

Entre 1982 – année de la première réglementation européenne sur la limitation du bruit des véhicules neufs – et 1996, les progrès sur les émissions acoustiques des véhicules légers ont atteint 8 dB(A).

En 2026, échéance de la prochaine évolution de cette réglementation, les progrès sur les émissions acoustiques des véhicules légers auront atteint 14 dB(A).





En 1969, le Centre scientifique et technique du bâtiment avait réalisé 40 mesures de bruit par période de 48 heures en façade d'immeubles parisiens. En 1999, soit 30 ans après, la même série de mesures a été réalisée en quatre points identiques. En 30 ans, le bruit a été réduit à Paris de -1 à -2 dB(A). Cette diminution concerne surtout les pics de bruit (niveaux supérieurs à 70 dBA).

Année	1969	1999
Nombre d'habitants	50 millions	58,5 millions (+17 %)
Nombre de véhicules	13 millions	33 millions (+250 %)
Diminution des niveaux de bruit à Paris	1969 $\xrightarrow{-1 \text{ à } -2 \text{ dB(A)}}$ 1999	



2.2

### LES DÉMARCHES POUR L'ÉVALUATION DES GAINS ACOUSTIQUES D' ACTIONS CLIMAT, AIR, ÉNERGIE ET BRUIT

L'accompagnement des territoires au cours de l'expérimentation PCAET-BRUIT initiée par l'ADEME a permis de mieux identifier les besoins des collectivités en termes d'évaluation des impacts. Des tendances assez nettes peuvent être dégagées, avec notamment différents niveaux de demande.

Une première partie des réponses aux demandes et aux enjeux est bien remplie par la simple évaluation qualitative des actions. Cela concerne notamment les actions où l'intérêt de l'analyse réside principalement dans la structuration d'un discours à l'attention des populations, services et élus (notamment sur les questions d'ambiance, d'attractivité, de confort...).

Dans un second temps, les échanges et expérimentations menées au cours de l'étude ont montré que certaines actions sont plus sujettes à débat et posent clairement la question de l'évaluation. Cela nécessite alors de mettre en évidence les éléments sur lesquels il faut faire preuve de vigilance, détailler l'ensemble des problématiques rencontrées et avoir une vision claire des conséquences liées aux différentes orientations et décisions possibles.

Plusieurs outils d'analyse sont donc proposés afin de répondre aux différents besoins. La grille d'analyse indiquée ci-après (cf. "Mode d'emploi de la grille" page 24) permet par exemple d'identifier rapidement les actions d'un PCAET qui ont

un impact sur le bruit. Elle permet également d'apprécier le niveau de cet impact et de décrire les conditions dans lesquelles un gain acoustique est obtenu.

Une seconde analyse plus poussée intervient lorsque certaines actions nécessitent un développement ou approfondissement du fait qu'il n'est pas possible de trancher directement sur leurs impacts, ou bien de se limiter à la description des conditions de mise en œuvre. Cette analyse s'appuie sur des fiches de recommandations, qui proposent une analyse plus poussée des différents impacts climat, air, énergie et bruit, qui font référence à de la documentation bibliographique pertinente et qui sont complétées de retours d'expérience permettant de donner des éléments concrets de mise en œuvre réussie.

Enfin un troisième niveau d'analyse peut s'appuyer sur la méthode de l'arbre des conséquences. Cette méthode permet de mettre en évidence visuellement les éléments sur lesquels il faut faire preuve de vigilance pour chaque enjeu (en particulier celui du bruit lors d'un projet qui intègre peu cette composante). Les arbres de conséquences proposent un cadre méthodologique structurant pour les services permettant d'alimenter les réflexions, échanges, recommandations et orientations autour du projet en l'adaptant au contexte local.



### 2.2.1 Une grille d'évaluation qualitative simplifiée des gains acoustiques d'un PCAET

Les travaux réalisés lors de l'expérimentation ont mis en évidence que la convergence des actions en faveur des enjeux Climat, Air, Énergie et Bruit est conditionnée, dans la grande majorité des cas, aux modalités de mise en œuvre des actions, aux contextes et dynamiques existants et, globalement, à l'attention et la vigilance portées par les services et opérateurs à la problématique acoustique. Les conditions de convergence sont certes systématiques, elles sont cependant remplies plus ou moins facilement et plus ou moins bien connues. L'ampleur de l'impact acoustique attendu, qu'il soit direct ou indirect, de l'action est également un critère important de l'analyse.

**Bordeaux Métropole**, l'un des six territoires ayant participé à cette expérimentation, a été à l'initiative d'une démarche structurante permettant d'apprécier les effets directs et indirects d'actions "Climat, Air, Énergie", de hiérarchiser les actions en fonction de leur gain acoustique et de préciser les conditions dans lesquelles ces gains peuvent être obtenus. Ce travail s'est concrétisé par une **grille d'évaluation qualitative des gains acoustiques** des actions d'un PCAET (publiée sur le site [www.pcaet.bruit.fr](http://www.pcaet.bruit.fr)<sup>23</sup>).

L'établissement de cette grille d'analyse a été source d'enseignements et l'occasion d'obtenir des retours d'expériences quant à son format et sa pertinence par rapport aux besoins des collectivités. Une simplification et une clarification de la classification des actions dans la grille a été jugée nécessaire afin de se diriger vers un format moins sujet à interprétation, davantage didactique et le plus opérationnel possible. L'analyse acoustique des PCAET ayant notamment pour but d'alimenter le discours associé à la problématique du bruit, l'outil doit renforcer sa composante "communication", et permettre une valorisation rapide des analyses proposées pour les différentes actions.

La classification proposée rend compte de deux éléments :

- Dans un premier temps, le niveau de convergence est qualifié soit par un "+" soit par "++", selon si l'action présente un potentiel de réduction du niveau sonore faible à moyen ou moyen à fort. L'action est qualifiée par un "-" lorsqu'elle contribue à une élévation du niveau sonore. Quand aucun impact direct ou indirect n'est entrevu, l'action est affectée d'un 0. Lorsque c'est nécessaire, les "conditions de convergence"<sup>23</sup> sont exprimées dans une colonne ad hoc. Lorsque les conditions explicitées sont vraiment essentielles pour la convergence des enjeux climat, air, énergie et bruit et qu'il existe un réel impact bénéfique sur le bruit, un symbole "!" est présent afin d'attirer l'attention sur l'importance de ces conditions. Lorsque l'analyse de l'impact d'une action s'avère plus complexe (nombreuses variantes de mise en œuvre de l'action, multiples effets indirects, dimension temporelle prépondérante...), on renvoie vers des recommandations (cf. section 3 "Les recommandations", page 64), qui comprennent à la fois un état de l'art sur la question de la convergence Climat, Air, Énergie, Bruit de cette action et des retours d'expérience de villes.
- Enfin les mesures sont classées en 3 catégories avec un code couleur pour pouvoir les distinguer rapidement :
  - Gris : mesures susceptibles de générer du bruit et qui nécessitent donc une vigilance de la part des services
  - Jaune : mesures pour lesquelles il existe, sous certaines conditions, une convergence des enjeux CAE avec l'enjeu bruit
  - Vert : mesures pour lesquelles il existe une convergence des enjeux CAE avec l'enjeu bruit...

<sup>23</sup> Cette grille propose un recensement des modalités (spatiales, temporelles, organisationnelles, etc.) de cohérence des actions présentes dans les PCAET avec la lutte contre le bruit, et signale les éventuels points de vigilance, effets indirects ou effets pervers. La majorité des actions analysées proviennent des PCAET des territoires participant à l'expérimentation

## TÉMOIGNAGE

### Hélène DOURNEAU

*Chef de projet vulnérabilités urbaines  
et aménagement durable à Bordeaux Métropole*



Dans le sillage de la publication de son PCAET (“Plan d’action pour un territoire durable à haute qualité de vie”, juillet 2017), Bordeaux Métropole (BM) a fait l’exercice d’intégrer la thématique du bruit dans son PCAET. Hélène Dourneau, qui est à l’initiative de cet exercice, en dresse ici les bienfaits et les limites.

*“D’une manière pragmatique, dans les politiques publiques à tous les échelons, à commencer par celui de l’Union Européenne, la question du bruit est moins portée que les questions Climat, Air, Énergie (CAE). Or, on constate que les enjeux en matière d’air et de bruit sont généralement fortement convergents. On constate par ailleurs que, si certaines mesures exemplaires en termes d’énergie ou d’adaptation au changement climatique ont des effets neutres sur l’environnement sonore, d’autres en revanche peuvent avoir des effets néfastes ou positifs, suivant que le bruit est pris en compte conjointement aux questions CAE, ou ne l’est pas. Dresser une grille d’analyse des mesures inscrites au PCAET au regard de leur impact sur le bruit permet d’identifier les mesures “bruit friendly” (par exemple quasiment toutes celles visant à améliorer la qualité de l’air).*

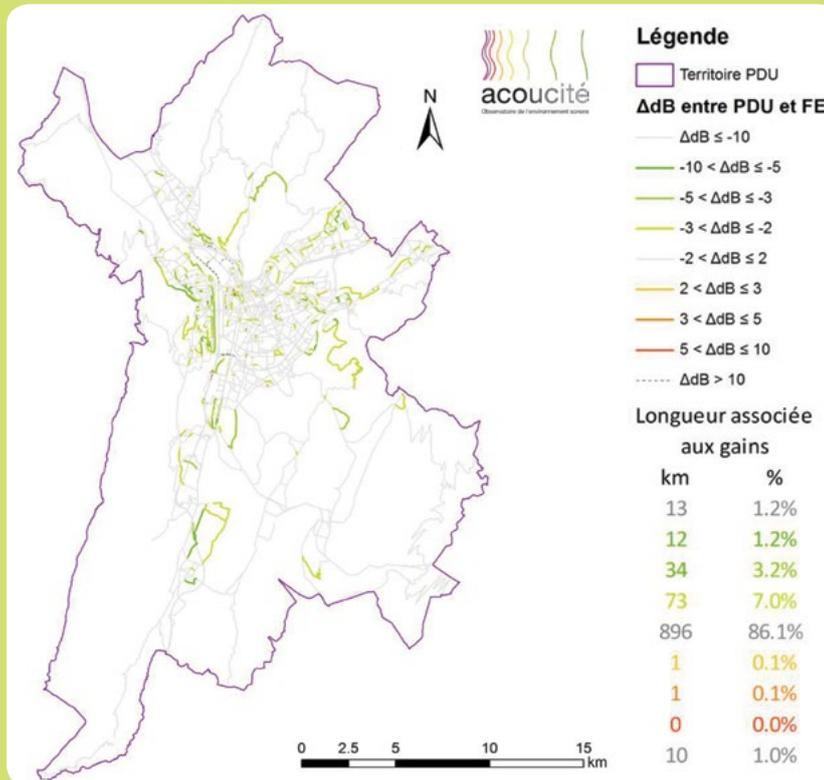
*Pour toutes ces mesures, l’amélioration de l’environnement sonore est un argument supplémentaire permettant de promouvoir leur déploiement “sans condition”, puisqu’on a la certitude qu’on est dans une dynamique “gagnant-gagnant”. Elles vont en effet dans le sens de l’optimisation des dépenses publiques.*

*La limite de l’exercice réside dans la difficulté à évaluer et quantifier le gain sonore des mesures concernées. Le présent guide intègre des éléments techniques et des recommandations permettant de préciser les conditions de mise en œuvre des principales mesures CAE “bruit conditionnées”. Ce travail pourra être complété ou précisé pour en améliorer le caractère opérationnel, au gré des retours des territoires qui auront exploité ces éléments pour produire ou optimiser les actions de leur PCAET”.*



## CAS CONCRET

## GRENOBLE ALPES MÉTROPOLE : ÉVALUATION DES EFFETS ACOUSTIQUES DU PDU DE L'AGGLOMÉRATION GRENOBLOISE



Carte de variation entre le scénario "2030 PDU" et le scénario "2030 Fil de l'eau" – Filaire routier

Tableau des cumuls en km par gain acoustique associé.

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

En parallèle de l'évaluation des gains acoustiques menée par Acoucité, une évaluation environnementale du PDU 2030 a été menée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes : km parcourus : -6 % / NO<sub>x</sub> : -76 % / PM<sub>10</sub> : -49 % / PM<sub>2,5</sub> : -63 % GES : -29 % / Conso NRJ : -12 %<sup>24</sup>

### OBJECTIFS

Établir des cartes de variation de l'émission (charge et vitesse), à échelle de la Métropole. Pour chaque linéaire (route, rue, etc.), le gain acoustique associé est représenté par un code couleur. Produire des tableaux statistiques de variation de l'émission (cumul en km par gain acoustique associé), et les inclure dans les cartes.

### CONTEXTE

Dans le cadre de la mission d'accompagnement d'Acoucité<sup>25</sup> auprès de Grenoble Alpes Métropole (GAM), une évaluation environnementale des effets acoustiques du Plan de Déplacements Urbains 2030 a été réalisée. Cette évaluation consiste en une analyse comparative de trois scénarii : le scénario "2030 PDU", contenant les actions prévisionnelles du PDU ; le scénario tendanciel "2030 Fil de l'eau" et le scénario "référence 2015".

<sup>24</sup> Plan de déplacements urbains 2030 de l'Agglomération grenobloise : évaluation + annexe Rapport environnemental

<sup>25</sup> Acoucité est l'Observatoire de l'environnement sonore en Rhône-Alpes-Auvergne. Cette association collabore, un peu à la manière des ASQAA pour la qualité de l'air, avec les métropoles telles que Aix-Marseille Provence, Nice Côte d'Azur, le Grand Lyon, Grenoble Alpes Métropole et Saint-Étienne Métropole [www.acoucite.org](http://www.acoucite.org)

...  
**MÉTHODE**

- Analyse sous système d'information géographique mais sans modélisation.
- Sources de bruit étudiées : bruit routier (véhicules légers, poids lourds, bus, autocars) + tramways.
- Méthodologie retenue : évaluation pour chaque tronçon routier des variations de puissance acoustique à l'émission selon le scénario retenu (mais sans prise en compte de la propagation du son ni évaluation des niveaux de bruit en façade).
- Les vitesses utilisées sont celles à vide, les effets de la congestion ne sont pas évalués.
- Brins retenus : ceux dont le trafic tous véhicules (VL, PL, bus et autocars) en Moyenne Journalière Annuelle est d'au moins 100 véhicules pour chaque scénario.
- Le routier et le ferré (tramway) sont traités indépendamment, sur des filaires distincts.
- Les variations d'émission sonore comprises entre - 2 dB(A) et +2 dB(A) sont considérées comme non significatives.
- Travail réalisé sous le logiciel SIG ArGIS. Calculs de variation d'émission sonore selon la norme NMPB 2008.
- Un travail sur le filaire a été nécessaire :
  - homogénéisation de la vitesse des tramways à 15 km/h ;
  - affectation d'une vitesse de 30 km/h aux voies routières dont la vitesse dans le modèle fourni était strictement inférieure à 20 km/h ;
  - regroupement des deux sens de circulation en sommant les trafics (par type de véhicule) et en retenant la valeur de vitesse à vide maximale.
- Équivalence en émission unitaire VL :
  - le travail étant effectué en relatif, les PL peuvent être traduits en équivalent VL en fonction de la vitesse puis ajoutés à la charge VL pour chaque scénario ;
  - de même, un autobus simple = 5 VL, un autobus à propulsion électrique ou trolleybus = 2 VL.
- Vitesses :
  - pour les sources routières, les variations d'émission liées à la vitesse sont directement proportionnelles à  $20 \times \log(\text{vitesse} / \text{vitesse référence})$  ;
  - pour le tramway, les variations d'émission liées à la vitesse sont directement proportionnelles à  $35 \times \log(\text{vitesse} / \text{vitesse référence})$ .



**RÉSULTATS / RÉALISATIONS**

- Comparaison entre 2030 PDU et 2030 fil de l'eau :**
- 86,1 % des tronçons n'ont pas de variation significative de leur niveau d'émission acoustique (i.e. en deçà de -2 dB ou au-delà de 2 dB).
  - 11,7 % des tronçons ont une variation significative de leur niveau d'émission acoustique (en dehors des créations et suppressions de voiries). Pour une grande majorité de ces brins (11,4 % des tronçons), le scénario "2030 PDU" permet d'abaisser les niveaux sonores à l'émission. 99,75 % des améliorations sont dues uniquement à la variation de charge (contre 0,08 % pour la vitesse et 0,17 % pour la charge et la vitesse conjuguées).

**FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS**

- Contrairement aux NO<sub>x</sub>, PM ou GES, polluants et enjeux pour lesquels les effets peuvent être évalués à l'échelle métropolitaine, l'évaluation quantitative des effets acoustiques n'a de sens que tronçon par tronçon, et les seuls résultats globaux consistent





#### POINTS DE VIGILANCE

- *Méthode ne prenant en compte ni la propagation acoustique ni la topographie. Il ne s'agit pas d'une modélisation en 3D.*
- *Seulement deux paramètres pris en compte (alors qu'il y a d'autres paramètres qui influent sur l'émission sonore) :*
  - la charge (et sa décomposition VL/PL/TC) ;
  - la vitesse.

#### CONTACT

- Céline ANTUNES – [celine.antunes@lametro.fr](mailto:celine.antunes@lametro.fr)

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- *Évaluation des effets acoustiques du PDU de l'agglomération grenobloise - Février 2018 - Céline Domergue et Valérie Janillon (Acoucité).*

#### RECOMMANDATIONS • 3.2.2. Limitation des vitesses

*en un cumul en km par gain acoustique associé : par exemple, concernant l'effet acoustique du PDU 2030 par rapport au scénario Fil de l'eau 2030, 81,1 % des tronçons n'ont pas de variation acoustique significative (variation comprise entre - 2 et + 2 dB).*

### 2.2.2 La méthode de l'arbre des conséquences pour identifier les mécanismes synergiques

Imaginons un scénario d'aménagement dans lequel on hésite entre trois types de revêtement de chaussée. En première approche, on ne cherche pas un niveau de détail poussé, au risque de se perdre. Dans un premier temps, on cherche donc seulement à savoir s'il y a de grosses différences de conséquences entre les trois enrobés envisagés. L'arbre des conséquences permet de

repérer quel est le facteur prédominant parmi toutes les conséquences. L'exercice permet de voir quelles étapes sont à creuser selon la finesse du diagnostic que l'on souhaite. La méthode s'adapte réellement au niveau de connaissance et d'approfondissement de l'analyse dont on a besoin. En cela, elle se rapproche de la démarche d'analyse du cycle de vie. Dans la méthode QuantiGES, développée par le CEREMA pour la quantification de l'impact GES (potentiel ou réel) d'une action de réduction des émissions, la construction de l'arbre des



Les 8 étapes de la quantification de l'impact GES d'une action de réduction des émissions - d'après la méthode QuantiGES de l'ADEME

conséquences est au cœur de la démarche en 8 étapes. La décomposition de l'action en sous actions, et l'identification des impacts liés à chacune d'entre-elles, permet, en adaptant le niveau de désagrégation, de réaliser une évaluation plus ou moins fine selon que l'on souhaite identifier un ordre de grandeur du potentiel, choisir entre plusieurs alternatives (préciser les conditions de mise en œuvre), ou établir un suivi précis des impacts.

Les modalités décrites ci-dessous, appliquées à l'évaluation d'une action de mise en place d'une ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS), sont une proposition qui pourrait être ajustée selon les besoins de l'évaluateur et le type d'action étudiée.

**FOCUS**

**EXEMPLE D'ARBRE DES CONSÉQUENCES APPLIQUÉ AU CAS DES BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE (BHNS)**

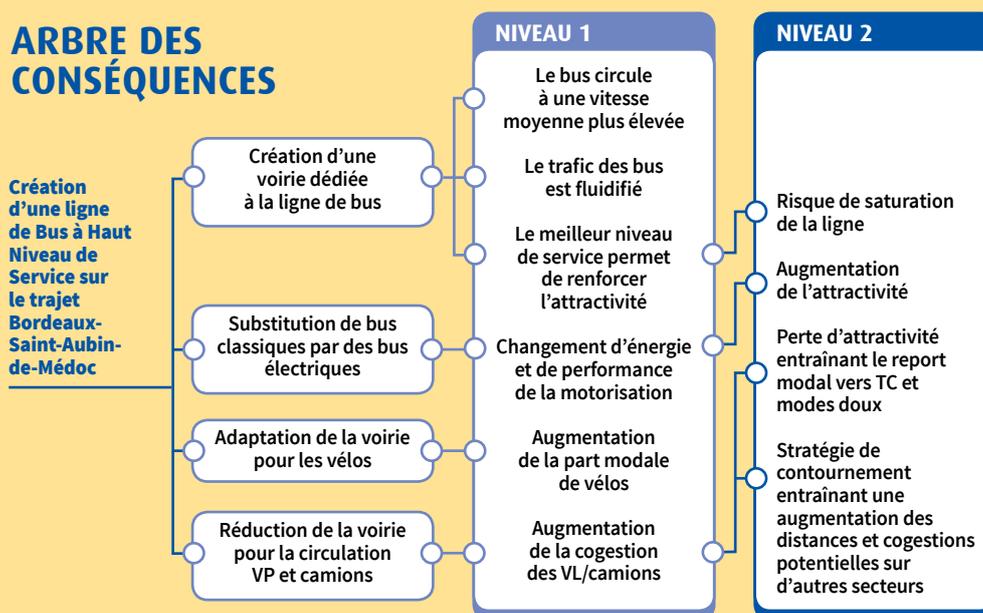
La méthode consiste à construire un arbre des conséquences "athématique" permettant de décomposer l'action, puis à analyser l'arborescence construite au regard des effets en termes de consommation d'énergie/émissions de GES, émissions de polluants atmosphériques et émissions sonores. Un code couleur permet de visualiser les impacts, la lecture simultanée des 3 visions étant permise par la décomposition commune.

**• Première étape : élaboration de l'arborescence par décomposition de l'action en sous actions et identification des effets induits**

*Dans un premier temps l'action est décomposée en sous actions "unitaires", correspondant peu ou prou à des travaux différents, chacune ayant ses propres effets. Les effets sont ici décomposés en 2 niveaux : un effet immédiat et potentiellement un effet*

*induit (on pourrait cependant imaginer aller plus loin dans la cascade de conséquences). On ne se demande pas à ce stade si l'effet a un impact sur les émissions sonores, polluantes ou de GES mais on essaie de raisonner sans a priori pour identifier tous les effets.*

**ARBRE DES CONSÉQUENCES**



Exemple de réalisation d'un arbre des conséquences pour la mise en place d'une ligne de BHNS électrique





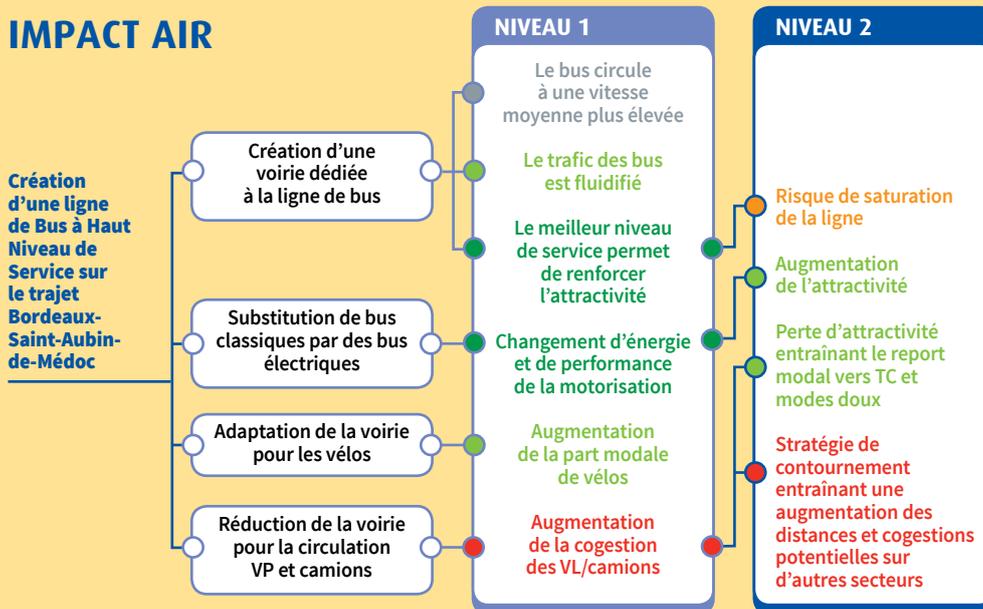
#### • Étapes d'évaluation des impacts

Dans un second temps, on se questionne sur l'impact de chaque effet de l'action sur la thématique étudiée : air, énergie/GES, et bruit successivement.

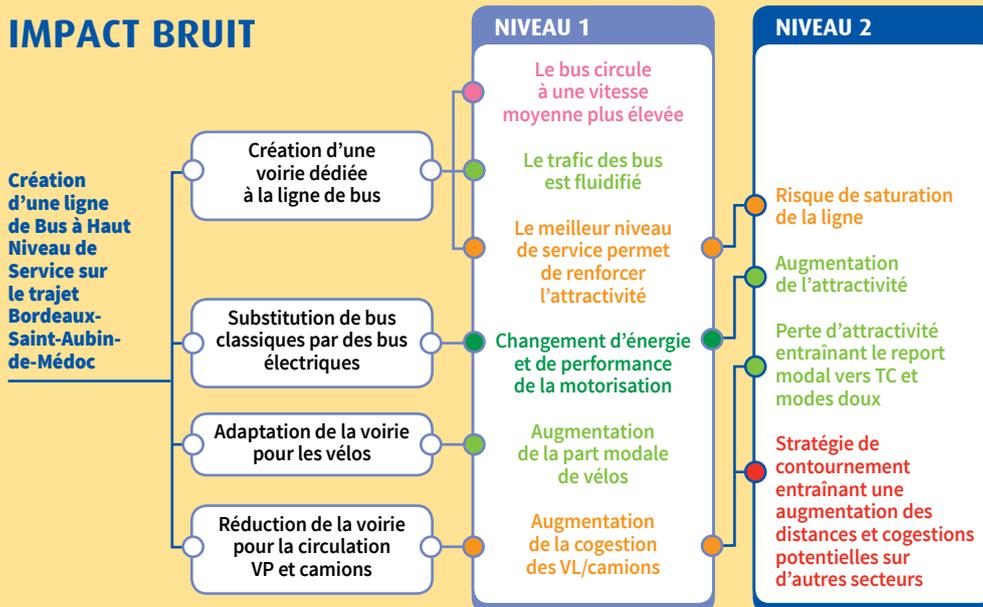
L'intensité et le caractère positif ou négatif est matérialisée par un code couleur (rouge ou vert plus ou moins foncé).

Des commentaires associés à chaque cellule permettent d'explicitier l'impact pris en compte et/ou de préciser les conditions de mise en œuvre justifiant le niveau d'impact retenu. La confrontation des 3 arbres thématiques permet de visualiser d'un seul coup d'œil les effets ayant potentiellement des impacts antagonistes.

### IMPACT AIR

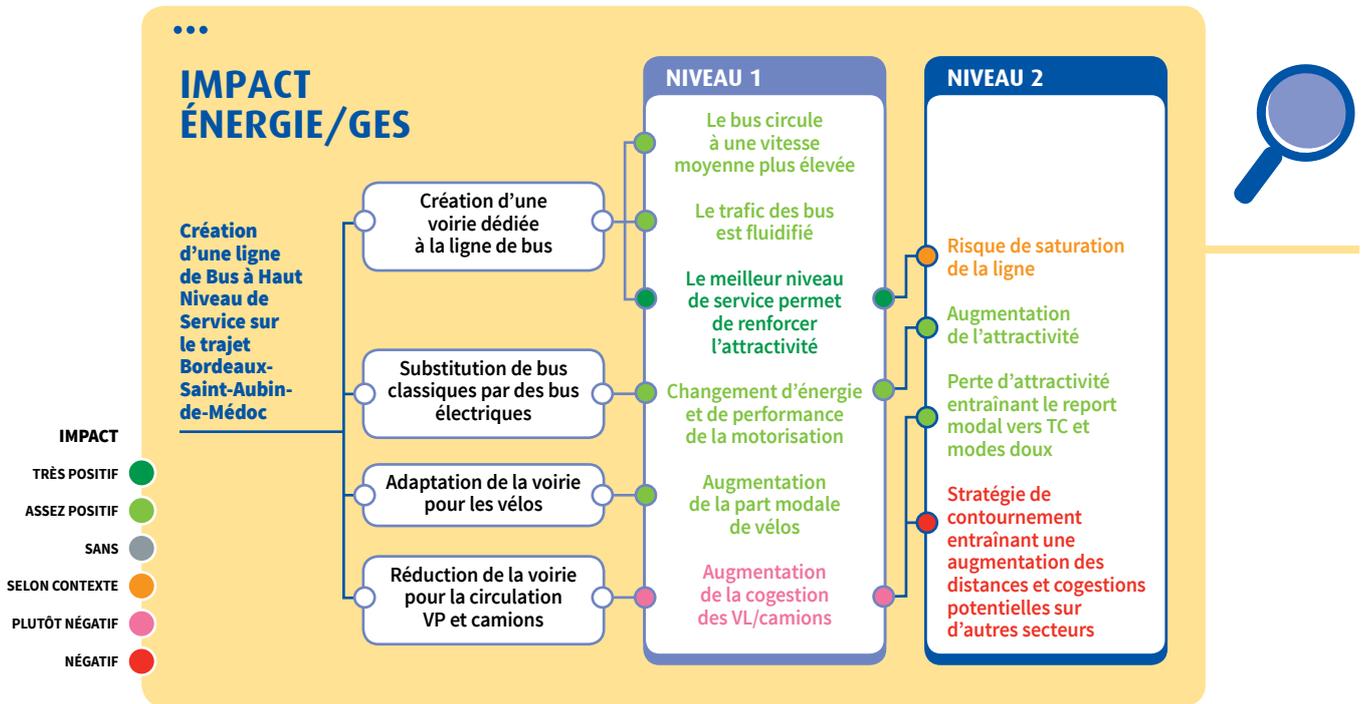


### IMPACT BRUIT



#### IMPACT

- TRÈS POSITIF ●
- ASSEZ POSITIF ●
- SANS ●
- SELON CONTEXTE ●
- PLUTÔT NÉGATIF ●
- NÉGATIF ●



### 2.2.3 Une vision globale grâce aux compléments des évaluations quantitatives des impacts et des risques sanitaires

Les Évaluations Quantitatives d'Impact Sanitaire (EQIS) et de risques sanitaires (EQRS) ont pour objectif de quantifier les impacts et les bénéfices sanitaires (et éventuellement économiques) qui pourraient être obtenus localement si les pollutions environnementales étaient réduites. Ces démarches constituent des outils d'aide à la décision permettant aux différentes parties prenantes de choisir, de planifier et de mettre en œuvre des mesures pour protéger la santé de la population. Pour chaque déterminant environnemental, l'EQIS traduit l'effet d'une action en termes d'impact sanitaire. En cela, cette approche permet de hiérarchiser les enjeux. En revanche, l'EQIS considérant chaque enjeu d'environnement séparément, elle ne prend pas en compte les interactions entre externalités négatives. Seules des EQIS intégrées, rendant compte des co-expositions, permettraient de coller davantage à la réalité des expositions des populations.

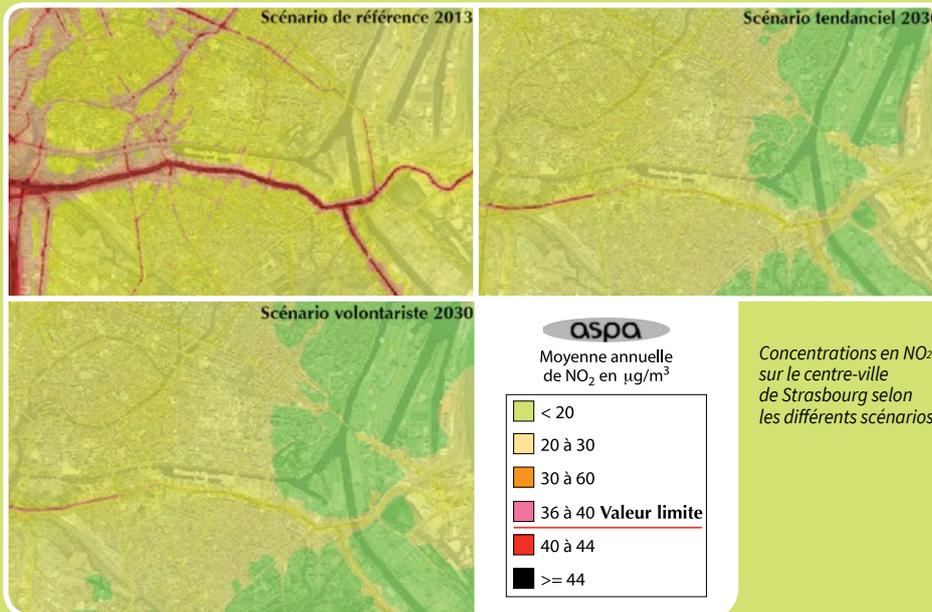
Lorsque, pour un polluant donné, toute l'information toxicologique est disponible et fiable et que la mesure analytique environnementale est possible, permettant la quantification de l'exposition des personnes, alors l'évaluation quantitative des risques pour la santé (EQRS, évaluation du niveau de risque par rapport à un seuil) permet d'estimer plusieurs indicateurs de risque éclairant la dimension sanitaire de la situation étudiée.



## CAS CONCRET



# EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG QUARTIER DES DEUX-RIVES : INTÉGRATION DES IMPACTS SANITAIRES DANS LA RÉFLEXION SUR LA PLANIFICATION URBAINE



### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- Renouvellement du parc automobile
- Prise en compte quantifiée des impacts environnementaux dans la construction d'un projet.
- Report modal
- Densification urbaine

### OBJECTIFS

- Volonté de développer et mettre en œuvre une méthodologie intégrant les impacts environnementaux et sanitaires dans la réflexion sur la planification urbaine.
- Analyser l'influence, sur la qualité de l'air, le bruit, puis la santé des habitants, de la mise en œuvre de scénarios prospectifs pour la réhabilitation et le développement du quartier des Deux-Rives.

#### Description des scénarios considérés :

Mobilité : scénario de référence	Situation 2013
Mobilité : scénario tendanciel 2030	Évolutions du quartier : - Intégration des futurs quartiers du projet des Deux-Rives impliquant les déplacements générés par 22 300 habitants et 8 800 emplois en y ajoutant des contraintes de stationnement restreint - Modifications du réseau de transports en commun
Mobilité : scénario volontariste 2030	Mesures plus volontaristes : - Contraintes de stationnement plus strictes - Augmentation des parts modales des modes doux - Augmentation des fréquences des transports en commun en heure de pointe - Gare au Port du Rhin sur la ligne TER de la gare de Strasbourg-Kehl avec un fort cadencement en heure de pointe - Augmentation de la part des véhicules électriques de 4 % - Augmentation de la part du covoiturage





**CONTEXTE**

**RÉSULTATS / RÉALISATIONS**

- Les mesures concernent également le volet énergie (réduction de la demande énergétique des bâtiments, etc.)
- L'étude porte sur le nouveau projet des Deux-Rives : cet ancien quartier industriel évolue vers une mixité d'usages résidentiel et tertiaire. L'analyse cherche à évaluer son influence sur l'ensemble de l'Eurométropole de Strasbourg (EMS).
- La démarche engagée par le consortium qui réalise l'étude (composé notamment de l'EIFER<sup>26</sup>, l'ASPA<sup>27</sup>, l'EMS, le Service des études médicales d'EDF et l'Équipe AIR du LMFA<sup>28</sup>) consiste à évaluer les conséquences environnementales et sanitaires associées à des mesures plus ou moins volontaristes. Les scénarios évalués se traduisent par une évolution du modèle énergétique en place pour les secteurs du bâtiment et de la mobilité.
- **Méthodologie d'évaluation**  
La méthodologie d'évaluation des impacts consiste en un enchaînement de méthodes spécifiques à chaque domaine :  
1) Analyse de l'existant et du projet urbain  
2) Prise en compte de la transformation des systèmes de consommation, de production d'énergie (thermique) décentralisée et de la mobilité pour dimensionner le nouveau système énergétique  
3) Caractérisation des émissions polluantes et modélisation de leur dispersion<sup>29</sup>, caractérisation des niveaux sonores et de leur propagation<sup>30</sup>  
4) Utilisation des méthodes EQIS<sup>31</sup> et EQRS<sup>32</sup> pour l'évaluation des conséquences sanitaires de l'exposition à cette pollution et comparaison des scénarios : les conséquences sanitaires sont évaluées à l'aide de deux indicateurs : le risque sanitaire (probabilité de développer des effets suite à une exposition) et l'impact sanitaire (nombre de personnes probablement affectées, déterminé statistiquement).
- **Résultats**  
**Impact qualité de l'air**

	Surface exposée à des dépassements de la VL en NO <sub>2</sub> de 40 mg/m <sup>3</sup>	Population potentiellement exposée à des dépassements de la VL en NO <sub>2</sub> de 40 mg/m <sup>3</sup>	Surface exposée à des dépassements de l'OQA en PM <sub>10</sub> de 30 mg/m <sup>3</sup>	Population potentiellement exposée à des dépassements de l'OQA en PM <sub>10</sub> de 30 mg/m <sup>3</sup>	Surface exposée à des dépassements de la VL en PM <sub>10</sub> de 40 mg/m <sup>3</sup>	Population potentiellement exposée à des dépassements de la VL en PM <sub>10</sub> de 40 mg/m <sup>3</sup>
Scénario de référence	3,8 km <sup>2</sup>	17 500 hab.	3,6 km <sup>2</sup>	39 300 hab.	0,5 km <sup>2</sup>	0 hab.
Scénario tendanciel 2030	0,4 km <sup>2</sup>	0 hab.	2 km <sup>2</sup>	22 200 hab.	0,2 km <sup>2</sup>	0 hab.
Scénario volontariste 2030	0,3 km <sup>2</sup>	0 hab.	1,8 km <sup>2</sup>	19 300 hab.	0,2 km <sup>2</sup>	0 hab.

<sup>26</sup> European Institute for Energy Research

<sup>27</sup> Association pour la surveillance de la pollution atmosphérique en Alsace – Atmo Grand Est

<sup>28</sup> Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique de l'École centrale de Lyon

<sup>29</sup> Les modèles de dispersion ADMS-Urban et SIRANE sont utilisés à l'échelle urbaine. Ils sont modifiés afin de prendre en compte les spécificités urbaines et permettre la spatialisation de la qualité de l'air sur l'ensemble d'une agglomération

<sup>30</sup> Évalué par le Cerema sur la base des données de trafic en utilisant le logiciel NoiseM@p

<sup>31</sup> Évaluation quantitative des impacts sanitaires

<sup>32</sup> Évaluation quantitative des risques sanitaires





Pour les PM<sub>2.5</sub>, en ville, 6 % seulement de la baisse est due aux mesures volontaristes prises par la ville, le reste des gains provenant des normes Euro ; pour les NO<sub>x</sub>, 4,5 % seulement des gains proviennent des mesures volontaristes envisagées par la ville.

#### **Impact Bruit**

Le scénario volontariste du projet exerce un impact positif sur les résultats de 2030, mais avec des différences relativement marginales. Le gain, certes léger, intervient cependant dans un contexte où le projet (qui a pour effet d'augmenter la mobilité et les populations à proximité des axes de transport) accentue dans un premier temps (jusqu'à 2020) la proportion de populations exposées à de forts niveaux de bruit, pour retrouver en 2030 un niveau proche de celui observé actuellement.

#### **Impact santé**

L'EQIS a montré que les gains sanitaires les plus importants proviennent de la réduction des PM<sub>2.5</sub>. Cela est dû à leur effet à long terme sur la mortalité : ce sont plus de 12 décès évités par an dans l'EMS grâce à la version volontariste du projet à l'échéance 2030. Dans l'ensemble, l'étude atteste des effets bénéfiques des politiques volontaristes sur des questions sanitaires et socioéconomiques. Les gains obtenus avec ces mesures sont néanmoins modestes, notamment en comparaison de ceux obtenus via l'évolution du parc automobile. Cela confirme la nécessité de placer la lutte contre la pollution de l'air et la pollution sonore dans une dynamique à l'échelle de l'agglomération, afin de bénéficier de synergies et d'amplifier les gains.

#### **FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS**

- Illustration de l'intérêt d'intégrer les aspects environnementaux et sanitaires aux processus de décision dans la planification urbaine.
- La démarche qui consiste à revaloriser d'anciennes zones d'activités industrielles s'inscrit dans un processus de densification urbaine qui favorise les mobilités actives et permet de lutter contre l'étalement urbain. Le développement coordonné, et intégrant les enjeux environnementaux, du quartier d'habitat et d'activités tertiaires permet d'améliorer la qualité du projet.
- L'utilisation des résultats issus de l'évaluation sanitaire de l'étude pour des enjeux de communication semble être tout à fait pertinente et bénéficier d'un fort potentiel pour sensibiliser et impliquer les populations concernées.
- Périmètre restreint à un quartier seulement ; l'étude à l'échelle de la ville entière serait un projet plus ambitieux mais plus complexe.
- Strasbourg bénéficie d'un contexte favorable en raison d'une politique maintenant ancienne de diminution de la part de l'automobile en ville : taux de parking faible (0,4) ; parkings en silo ; parking relais (4,5 € par jour, ticket de tram inclus), StrasMap, application couvrant toutes les communes de l'EMS et regroupant en un seul outil les informations relatives aux divers modes de déplacement - piéton, vélo, auto, transports en commun, y compris les informations sur la qualité de l'air.



#### POINTS DE VIGILANCE

- *Problématiques liées à la scénarisation et à l'étude prospective : l'étude cherche à mettre en avant l'influence de l'évolution d'un quartier sur l'ensemble d'une ville. L'impact d'actions définies peut être évalué mais les simulations ne prennent pas en compte les autres évolutions qui vont advenir sur l'EMS, et les synergies possibles entre les différentes mesures mises en place. Il existe donc un risque de sous-évaluation des effets positifs des mesures sur les émissions. Les scénarios de mobilité ne prennent par exemple pas en compte l'ensemble des mesures prévues dans le PDU ni certains changements majeurs à venir.  
La réduction des impacts obtenus par la mise en œuvre de scénarios plus volontaristes ne prend pas en compte les coûts associés aux mesures, et ne prend donc pas en compte leur faisabilité ou leur efficacité.  
La démarche d'évaluation quantitative d'impact sur la santé similaire peut s'avérer complexe pour une entité non publique du fait des difficultés d'accès à certaines données (données d'hospitalisation notamment).*
- *Problématique liée à l'emplacement du projet : bien que la requalification de ce quartier s'inscrive dans une démarche pertinente, l'emplacement du projet au niveau d'un axe de transit transfrontalier va placer les futurs résidents dans un environnement caractérisé par des pollutions atmosphériques et sonores importantes.*

#### CONTACT

- Camille PAYRE – EIFER - [camille.payre@eifer.org](mailto:camille.payre@eifer.org)

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- *Environnement, Risques & Santé - Volume 17, numéro 1, Février 2017*

#### RECOMMANDATIONS

- **3.1.1. Formes urbaines et architecturales**
- **3.2.2. Limitation des vitesses**



## TÉMOIGNAGE

**Camille PAYRE**

*Ingénieur de recherche à l'Institut européen de recherche sur l'énergie (EIFER, Karlsruhe, Allemagne)*

**Camille Payre est co-auteure de l'étude "Planification urbaine, environnement et santé : une étude sur Strasbourg". Elle nous livre ici quelques commentaires destinés à la fois à mieux comprendre le contexte de cette étude et à mieux cerner les bienfaits des approches d'évaluation quantitative d'impact sanitaire dans les décisions d'aménagement.**

*"Le caractère innovant de l'étude réside dans le développement d'une approche systémique de la planification urbaine : lors de l'élaboration et de l'évaluation des différentes options de planification urbaine, leurs conséquences sur les problématiques liées à l'énergie et aux transports ont été considérées, mais celles sur l'environnement (bruit, pollution de l'air) et la santé des habitants ont aussi été prises en compte.*

*Il s'agissait d'évaluer l'impact de l'évolution du quartier des Deux-Rives sur l'ensemble de l'Eurométropole de Strasbourg ; certaines mesures (par exemple la modernisation du parc automobile) touchent toute la métropole et auront des conséquences positives plus larges. Les questions d'échelle sont au cœur de la problématique des évaluations des politiques urbaines : il est intéressant d'étudier les actions et leurs impacts à la fois à l'échelle de l'action (ici le quartier des Deux-Rives), et à l'échelle de l'empreinte de l'action (l'ensemble de l'Eurométropole). Ceci vaut pour la pollution atmosphérique comme pour le bruit : s'il est possible d'évaluer le nombre de personnes touchées sur un quartier, cette évaluation ne prendra pas en compte les reports possibles de trafic qui affecteront d'autres habitants. Il faut toujours utiliser la méthode adaptée à chaque échelle. Concrètement, pour ce projet, une évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS, consistant à évaluer le nombre de personnes touchées) menée*

*à l'échelle de la métropole a permis d'estimer le bénéfice sanitaire global du projet ; simultanément, une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) a été conduite sur les Deux-Rives, zone urbaine concernée par le projet. Si une EQRS peut être plus facile à mener qu'une EQIS, les deux démarches nécessitent une étape de modélisation (de la dispersion pour les polluants atmosphériques, de la propagation pour le bruit).*

*Concernant le bruit, l'étude a évalué l'impact du projet sur le quartier : le bruit est maîtrisé, alors que le projet induit un accroissement de la population et des activités. L'impact acoustique à l'échelle de la ville aurait pu être évalué de la même manière. La prise en compte du bruit dans les évaluations sanitaires doit être constructive : en effet, les seuils de risques pour la santé recommandés par l'Organisation mondiale de la santé sont tellement bas qu'il est difficile de les respecter en milieu urbain dense, il faut donc chercher à réduire l'exposition au bruit pour s'en approcher.*

*Les démarches d'évaluation d'impact sur la santé présentent un réel intérêt dans la planification urbaine, en apportant une vision systémique et globale.*

*Ces enseignements précieux sur les aspects relatifs à l'environnement et la santé peuvent être utilisés par les villes pour étayer leurs décisions."*

### 2.2.4 L'outil "évaluation d'impact sur la santé" pour ordonner les priorités

#### • Définition

Consensus de Göteborg, OMS, 1999 : L'EIS est une "combinaison de procédures, de méthodes et d'outils par lesquels une mesure peut être évaluée selon ses effets potentiels sur la santé de la population et la distribution de ces effets à l'intérieur de la population".

#### • Principes de l'EIS

Agir pour la santé et le développement durable dans une collectivité implique des arbitrages entre enjeux que seule une vue d'ensemble permet d'opérer. Dans l'EIS, on cherche à évaluer les impacts sur la santé à travers l'influence des options sur l'ensemble des déterminants. La santé devient en quelque sorte un cadre de lecture qui cherche à donner du sens.

Pour conduire une EIS, trois grands principes sont à respecter :

- s'efforcer de mettre en évidence les conséquences globales de la proposition, en se démarquant d'une vision sectorielle et en se préservant des a priori ;
- "optimiser" les choix autour d'un projet pour favoriser la santé, le bien-être et la réduction des inégalités ;
- accompagner l'appropriation du projet par les habitants et usagers.

L'EIS se situe à l'articulation des autres dispositifs qu'elle vient compléter sans les alourdir, en les rendant plus performants et plus lisibles.

Par rapport aux études d'impact et aux évaluations environnementales (EIE), aujourd'hui incontournables lors de la mise en place de projets d'aménagement, l'EIS constitue une démarche moins technique et intégrant davantage la notion d'intersectorialité. La valeur ajoutée de l'EIS réside dans ce qu'elle contribue à élargir le champ d'étude aux habitudes de vie et à l'environnement social.

L'approche d'évaluation d'impact sur la santé (EIS) aide à choisir entre des solutions réalistes les plus favorables à l'environnement et la santé.

L'EIS constitue avant tout une incitation à la collaboration et la communication entre les différents partenaires. C'est aussi une démarche qui tient compte des aspirations de la population, qui encourage sa participation et qui participe d'un effort de transparence vis-à-vis des citoyens.

L'EIS constitue un outil efficace pour ordonner les priorités, donner de la cohérence aux réalisations et du sens aux décisions des responsables locaux. Cette démarche a pour finalité de formuler des recommandations visant à minimiser les effets négatifs et à renforcer les effets positifs.

La prise en compte d'une gamme très ouverte de facteurs pouvant avoir une influence sur la santé et le développement durable implique la consultation et la concertation de plusieurs services d'une même collectivité qui seront incités à réfléchir et travailler ensemble. L'EIS favorise la transversalité : elle permet de fédérer les partenaires autour de problématiques communes en valorisant leurs différentes expertises.



## TÉMOIGNAGE

**Françoise SCHAETZEL**

*Conseillère municipale, conseillère eurométropolitaine déléguée, conseillère de la commune de Strasbourg : intérêt d'une évaluation d'impact sanitaire dès la phase de conception*

L'Eurométropole de Strasbourg (EMS) s'est engagée résolument dans la transition énergétique et écologique de son territoire, à travers une réforme de ses politiques publiques d'aménagement urbain, de transport et d'alimentation énergétique. À l'EMS, Françoise Schaezel est chargée d'évaluer ces politiques sous le prisme de la santé environnementale. Elle nous livre ici sa vision de la prise en compte de la qualité de vie dans les choix stratégiques et opérationnels d'une métropole.

**En matière de planification urbaine, quel est selon vous l'apport de la démarche d'évaluation d'impact en santé pour mieux prendre en compte les interactions entre les facteurs environnementaux tels que le bruit, la qualité de l'air et les îlots de chaleur urbain ?**

**Françoise Schaezel :** *La littérature internationale en matière de santé environnementale est assez conséquente. On dispose aujourd'hui de données mettant en relation un certain nombre de déterminants environnementaux avec des problèmes de santé. Par exemple, on sait que la végétation joue un rôle sur la santé mentale, la dépression et le stress. En revanche, les interactions entre facteurs environnementaux sont difficiles à quantifier, car leurs effets ne s'ajoutent pas toujours. En particulier, certains polluants peuvent se recombinaison et donner lieu à un autre polluant ayant ses effets propres. C'est la raison pour laquelle, sur le projet du quartier des Deux-Rives, nous avons calculé séparément l'impact du bruit et de la qualité de l'air, à la faveur de deux démarches d'évaluation quantitative : pour la qualité de l'air, une évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS) et, pour le bruit, une évaluation quantitative des risques pour la santé (EQRS). Mais comme sur ce quartier ces deux facteurs environnementaux ont la même cause – la circulation routière –, nous avons sans doute comptabilisé deux fois les mêmes populations.*

*Cette démarche d'évaluation quantitative est séduisante, elle constitue une aide à la décision et permet d'adresser des messages simples aux élus, tels que : "si vous améliorez la qualité de l'air, il y aura cent morts de moins". Mais son principal inconvénient est qu'elle nécessite des données hospitalières. Qui plus est, elle fait l'impasse sur les interactions entre facteurs environnementaux.*

*Sur le projet des Deux-Rives, nous avons également mené une démarche d'évaluation d'impact en santé (EIS), qui se base quant à elle sur la notion de déterminants de santé. C'est une approche centrée sur la notion de qualité de vie, avec un périmètre plus large que les seuls polluants, incluant par exemple la cohésion sociale et les inégalités de revenus. C'est une démarche complète avec une logique d'analyse plus transversale, plus intégrée que la seule juxtaposition polluant par polluant, qui permet d'appréhender les choses de façon globale. Un autre avantage de l'EIS est qu'elle permet la formulation d'un discours positif et compréhensible, et même d'aller jusqu'au stade des recommandations. À noter enfin que l'ampleur de l'EIS peut être adaptée aux moyens et au temps disponibles : l'EIS rapide, qui dure de quelques jours à quelques semaines, se limite à l'utilisation de données probantes issues de la littérature et la consultation de quelques personnes-ressources.*





**Les approches d'évaluation sanitaire demandent des connaissances pointues sur les effets délétères des contaminations environnementales, ne sont-elles pas réservées aux chercheurs ?**

**Françoise Schaetzel :** *C'est de moins en moins le cas. Sur ces sujets, les bureaux d'études et la sphère académique se parlent. Ne serait-ce que dans le cadre du projet ISAdOrA ("Intégrer la SAnTé Dans les Opérations d'Aménagement"). Ce projet financé par l'ADEME, la DGALN et la DGS est mené dans le cadre d'un partenariat entre l'EHESP, l'A'urba et la FNAU.*

*Concernant le projet des Deux-Rives, nos études ont montré qu'une évaluation d'impact sanitaire menée dès la phase de conception permettait d'éclairer les choix en matière d'aménagement urbain, de mobilité ou d'approvisionnement énergétique. Certes, ces travaux ont aussi révélé la modestie des effets à l'horizon 2030 des mesures volontaristes envisagées. Ce qui souligne la nécessité d'élargir la lutte contre les pollutions atmosphériques et sonores à l'échelle de l'agglomération par des mesures structurantes.*

*Des mesures de restriction de la circulation automobile ont ainsi été adoptées courant 2017. Dans un registre similaire, nous travaillons à un système de régulation dynamique du trafic couplée à des capteurs de qualité de l'air. En ce qui concerne le grand contournement ouest de Strasbourg (GCO), le président de l'Eurométropole a souhaité lancer une EIS. Même si je considère qu'on ne peut pas mener des EIS complètes pour tous les projets, l'ancien médecin de santé publique que je suis se félicite de voir cette acculturation progressive des politiques aux questions sanitaires et à la qualité du cadre de vie.*

**Avez-vous un avis sur la question de l'intégration du bruit dans le dispositif des Plans Climat, Air, Énergie : intégration réglementaire (vers des PCAEBt ?) ou simple prise en compte, moyennant le respect des conditions de co-bénéfices, pour ne pas complexifier la démarche qui déjà est lourde ?**

**Françoise Schaetzel :** *À Strasbourg, le Conseil eurométropolitain vient d'adopter une délibération de stratégie en santé environnementale intitulée "feuille de route pour un environnement porteur de qualité de vie et de santé". L'un des axes de cette feuille de route porte sur l'intégration de la problématique de la qualité de vie dans les politiques structurantes, telles que la mobilité, l'urbanisme, le logement, l'agriculture. La problématique du bruit, qui depuis peu relève de mes attributions, a été intégrée de manière assez globale, dans l'urbanisme. Concernant le dispositif des plans climat, cette délibération cadre introduit une déclinaison santé du PCAET. Nous sommes en négociation avec l'Agence régionale de santé (ARS) pour que, dans le cadre de cette délibération, un plan d'action soit contractualisé entre le président de l'Eurométropole de Strasbourg et l'ARS. Nous réfléchissons par ailleurs à la prise en compte de la qualité de l'air dans les Orientations d'aménagement et de programmation (OAP). Il n'est pas certain que nous allons jusqu'à rendre cette OAP prescriptive. Cela dit, et là, c'est l'ancienne Inspectrice Générale des Affaires Sociales qui parle, ce n'est pas toujours le prescriptif qui est le plus efficace.*



## FOCUS



## INTÉGRER LE BRUIT COMME DÉTERMINANT DANS LES DÉMARCHES GLOBALES D'ANALYSE D'UN "ENVIRONNEMENT FAVORABLE À LA SANTÉ" ET FACTEUR DE QUALITÉ DE VIE

Ce focus présente deux "méthodes" permettant d'intégrer la prise en compte du bruit dans des démarches globales d'évaluation d'impacts des projets sur la qualité de vie : une grille d'indicateurs d'EIS pour concevoir un urbanisme favorable à la santé développée par l'EHESP et les étapes de l'évaluation des impacts sanitaires (EIS) proposées par l'ANSES.

- **Grille d'indicateurs d'EIS pour concevoir un urbanisme favorable à la santé**

L'EHESP (École des Hautes Études en Santé Publique) s'est inspirée du concept d'un "Urbanisme Favorable à la Santé" initié par le programme des villes-santé en 1987, afin de définir cinq grands axes pour un aménagement favorable à la santé. Les auteurs Barton et Tsourou (2000) proposent dans les travaux de l'OMS les grandes lignes de ce concept "un type d'urbanisme favorable à la santé implique des aménagements qui tendent à promouvoir la santé et le bien-être des populations tout en respectant les trois piliers du développement durable. Il porte également les valeurs d'égalité, de coopération intersectorielle et de participation, valeurs clés de la politique de l'OMS "la santé pour tous". Ce concept est un levier pour intégrer plus de santé, au sens large, dans les politiques d'aménagement du territoire. Sa déclinaison opérationnelle porte donc (Axe 1) sur la **réduction des polluants** (air, eau, sol, gaz à effet de serre, etc.), des nuisances (bruit, odeurs, ondes électromagnétiques, etc.) et autres **agents délétères** (composés chimiques des matériaux de construction, etc.). Ces choix doivent se faire dans une perspective de réduction à la source mais également de réduction de l'exposition des populations. La déclinaison opérationnelle du concept d'Urbanisme Favorable à la Santé renvoie également à la **promotion des comportements ou**

**des styles de vie sains des individus** (Axe 2), à une contribution au changement **d'environnement social** (Axe 3), à la **correction des inégalités de santé** (Axe 4) entre les différents groupes sociaux économiques et les personnes vulnérables, en termes d'accès à un cadre de vie de qualité et d'exposition aux polluants, diminution des nuisances et agents délétères; et à **l'identification et à la gestion des antagonismes et possibles synergies** (Axe 5) lors de la mise en œuvre des projets. Ces axes constituent le volet pratique du guide "Analyse du projet au regard des axes du concept d'Urbanisme Favorable à la Santé" à destination des ARS. Ce guide propose une vue d'ensemble d'un projet/politique/action territorial(e) par la structuration d'une approche croisée multithématique de ses impacts potentiels sur la santé et sur les inégalités. À partir d'un état des lieux des spécificités du territoire concerné, et des enjeux sanitaires associés, l'ensemble des facteurs (ou déterminants) pouvant avoir une influence sur la santé et le développement durable sont recensés. **La qualité de l'environnement sonore** constitue en ce sens un déterminant de la santé et 2 critères d'appréciation lui sont associés : les sources d'émission sonores en termes d'atténuation, et la qualité de l'ambiance sonore en termes de préservation et d'amélioration. Dans une démarche évaluative type EIS, la qualité de l'environnement sonore peut ainsi être mesurée sur la base des éléments/indicateurs suivants.





		Les éléments source d'émissions sonores	Indicateurs/critères permettant de quantifier/qualifier ces éléments
4-1 Sources de bruit (réduction)	État initial	Recensement exhaustif, et géolocalisé, des sources d'émissions sonores ( <i>fixes, mobiles, canalisées, diffuses,...</i> ) dans la zone concernée par l'implantation du futur projet et dans son proche environnement : - Trafic routier ; - Trafic ferroviaire ; - Trafic aérien ; - ICPE ; - Bruits de voisinage.	- Inventaire qualitatif et quantitatif exhaustif des différentes émissions sonores . - Cartes de bruit initiales pour les émissions sonores liées aux trafics routier, ferroviaire, aérien et aux ICPE. - Mesures sonores ponctuelles ( <i>pour vérifier et conforter la carte de bruit</i> ). - Calcul de l'émergence pour les bruits de voisinage. - Comparaison de l'ensemble de ces données aux valeurs réglementaires et aux valeurs-guides de l'OMS.
	Phase de chantier	Recensement exhaustif, et géolocalisé, des sources d'émissions sonores et de vibrations occasionnées lors des phases de chantier.	- Inventaire qualitatif et quantitatif exhaustif des différentes sources d'émissions sonores et vibratoires : puissance acoustique, âge du matériel, fréquence de circulation (interne et externe) des engins de chantier, ... - Calcul de l'émergence sonore du chantier. - Mesures sonores et de niveau vibratoire. - Comparaison de l'ensemble de ces données aux valeurs réglementaires et aux valeurs-guides de l'OMS. - Distance séparant les principales sources d'émissions sonores des lieux d'habitation et ERP ( <i>bâtiments dits « sensibles » : établissements scolaires et de santé,...</i> ).
4-2 Qualité de l'ambiance sonore (Préservation et amélioration)	Phase de chantier	Ambiance sonore dans la zone durant les phases de chantier	- Evaluation en amont des phases de chantier du risque de gêne sonore et vibratoire pour les riverains. - Définition d'objectifs visant à réduire les nuisances sonores ( <i>entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre</i> ) avant le début des phases de chantier. - Vérification du respect de ces objectifs durant les phases de chantier. - Information, écoute et prise en compte des éventuelles plaintes des riverains durant la période de chantier.
	Impact du projet	Mesures envisagées pour préserver et améliorer l'ambiance sonore dans le futur projet	- Mesures envisagées pour éloigner, isoler, protéger ou orienter les bâtiments dits « sensibles » ( <i>établissements scolaires, de santé, habitations,...</i> ) des sources de bruit. - Mesures de protection type écrans acoustiques pour protéger les populations exposées aux nuisances sonores. - Mesures envisagées pour diminuer le bruit lié au trafic routier ( <i>aménagement et revêtement des voiries, détournement du trafic des poids-lourds, développement de l'offre en modes de transport alternatifs à la voiture particulière,...</i> ). - Estimation de l'impact du projet sur les zones calmes existantes ( <i>éviter les zones de conflit, c'est-à-dire l'emplacement de sources de bruit à proximité de zones calmes existantes</i> ). - Création de nouvelles zones calmes - Indication sur les points d'amélioration pressentis, les zones où l'ambiance acoustique sera améliorée suite au projet. - ...

Extraits : éléments et indicateurs sur lesquels s'appuyer pour l'évaluation  
(Source : Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils - 2014<sup>33</sup>)

<sup>33</sup> Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils – Guide EHESP/DGS, Roué-Le Gall Anne, Le Gall Judith, Potelon Jean-Luc et Cuzin Ysaline, 2014





### • Étapes de l'évaluation des impacts sanitaires du bruit environnemental proposée par l'ANSES

Chaque personne perçoit le bruit de façon différente suivant son environnement social, culturel ou encore selon sa situation de santé. Aussi, les nuisances sonores ont un impact sanitaire non-négligeable, et essentiellement extra-auditifs.

L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) a engagé des travaux dans l'objectif d'élaborer un cadre méthodologique évaluatif de ces impacts sanitaires extra-auditifs face à la difficulté de proposer un indicateur (ou un ensemble d'indicateurs) qui permette de répondre de manière satisfaisante à la problématique générale d'évaluation des impacts sanitaires liés au bruit environnemental.

La démarche repose sur la description de l'état initial et de l'état final sur une zone donnée pour un projet donné. Et bien que ces travaux soient très axés sur les risques sanitaires du bruit, alors que l'approche d'EIS sur le bruit sera focalisée sur l'optimisation des impacts positifs (limitation des impacts sanitaires de bruit VS amélioration de la qualité environnementale sonore), la combinaison de ces démarches pour caractériser le bruit environnemental et ses impacts potentiels et réels sur la santé et la qualité de vie des populations s'avère d'une grande pertinence. Elles permettent de dresser un état des lieux des spécificités du territoire concerné, et des enjeux sanitaires associés et de réaliser des **mesures d'impacts prospectives, contemporaines et rétrospectives** auxquelles sont associées des processus de médiation/concertation au niveau local.

#### ► Description du projet d'infrastructure

- **Description des caractéristiques de la nouvelle source sonore (infrastructure nouvelle en fonctionnement) :**
  - Type(s) de bruit : continu / événementiel non impulsionnel / événementiel de type impulsionnel ;
  - Tonalité : pas de tonalité marquée/hautes fréquences/basses fréquences ;
  - Spectre de fréquences : pas de prépondérance / prépondérance hautes fréquences / prépondérance moyennes fréquences / prépondérances basses fréquences ;
  - Rythme d'émissions sonores durant l'année : continue / saisonnier / saisonnier mais période critique ;
  - Rythme d'émissions sonores hebdomadaire : continu / jours ouvrés uniquement / fins de semaine uniquement ;
  - Prévisibilité des événements de bruits.
- Description des modifications de la qualité de l'environnement attribuables au projet :
  - Multi exposition : oui / non ;
  - Co-expositions : aucune co-exposition remarquable / pollution atmosphérique / autres pollutions ;
  - Qualité de vie locale.
- Description des modifications de facteurs géographiques attribuables au projet :
  - Valeur de l'habitat ;
  - Présence de façades silencieuses.
- Caractérisation de la perception de la source de bruit
  - Significativité du signal et relations socio-économique avec la source de bruit) : aucune influence / appréciation positive / appréciation négative.

#### 2) Détermination des expositions

##### ► Sélection des valeurs seuils utilisées pour chacun des effets retenus

(Infarctus du myocarde / apprentissage scolaire/ perturbations du sommeil / gêne)

##### ► Rassemblement des données nécessaires à la cartographie des expositions sonores

- Identification des cartographies d'exposition sonores existantes et données permettant de modéliser les expositions sonores dans l'état initial (avant projet) ;
- Recueil des données permettant de modéliser les expositions sonores attribuables au projet d'infrastructure étudié ;
- Recueil des données IGN de répartition des populations (échelle Iris recommandée).

Détail des étapes de l'évaluation des impacts sanitaires

(Source : Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental – ANSES 2013<sup>34</sup>)

<sup>34</sup> Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental – Avis de l'ANSES – Rapport d'expertise collective – Février 2013



### 1) Préalable au processus d'évaluation des impacts sanitaires

#### ► Détermination et description de la zone géographique étudiée

- Localisation géographique de la source sonore
- Délimitation de la zone géographique de l'étude
- Identification (localisation dans la zone géographique considérée et nombre d'individus concernés) :
  - Des établissements de santé et médico-sociaux ;
  - Des établissements d'enseignement ;
  - Des lieux de travail (quantification des travailleurs en horaires décalés).
- Localisation des « zones calmes » (espaces verts et autres)
- Caractérisation de la zone étudiée :
  - Espace rural / urbain ;
  - Type d'habitats : collectifs / individuels ;
  - Qualité des habitats : vétusté/insalubrité/isolation ;
  - Densité de population
  - Valeur immobilière de l'habitat ;
  - Présence de façades silencieuses (résidences).
- Caractérisation des populations présentes (étude socio-économique) :
  - Détermination des populations dépendantes de la nouvelle infrastructure source de bruit (projet) ;
  - Quantification des individus travaillant en horaires décalés ;
  - Objectivation des statuts socio-économiques (Indice Townsend pour les injustices environnementales) ;
  - Evaluation de la qualité de vie locale (indices de bien-être, tels que les dérivés territoriaux de l'Indicateur de Développement Humain, l'Indice de Précarité Sociale ; Indice de satisfaction environnementale ; Indices de confiance politique, etc...

#### ► Description de l'état initial

- Identification et description des sources sonores existantes avant le projet :
  - Type(s) de bruit : continu / événementiel non impulsif / événementiel de type impulsif ;
  - Tonalité : pas de tonalité marquée / hautes fréquences / basses fréquences ;
  - Spectre de fréquences : pas de prépondérance / prépondérance hautes fréquences / prépondérance moyennes fréquences / prépondérances basses fréquences ;
  - Rythme d'émissions sonores durant l'année : continue / saisonnier / saisonnier mais période critique ;
  - Rythme d'émissions sonores hebdomadaire : continu / jours ouvrés uniquement / fins de semaine uniquement ;
  - Prévisibilité des événements de bruits ;

### 3) Caractérisation des impacts sanitaires pour chaque effet sanitaire

- Evaluation quantitative des impacts sanitaires à l'aide des relations doses-réponses
- Prise en compte des déterminants complémentaires pour la caractérisation des impacts sanitaires

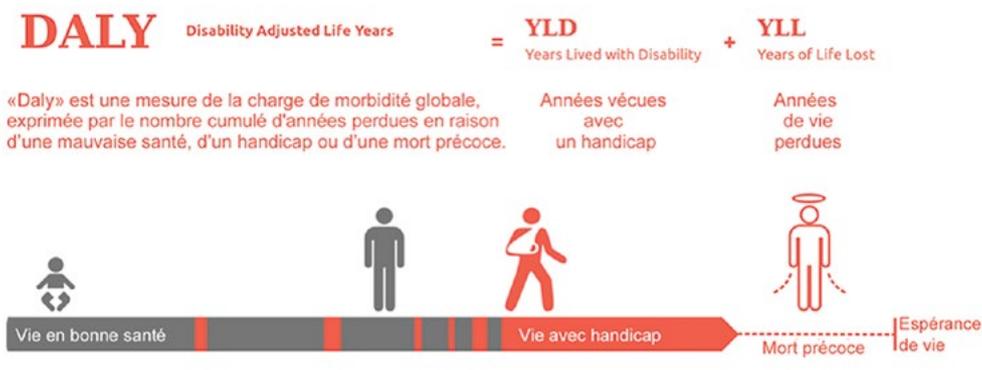
### 4) Identification et caractérisation des incertitudes

- Incertitudes liées à l'évaluation des expositions
  - Incertitudes induisant une surestimation des expositions ;
  - Incertitudes induisant une sous-estimation des expositions ;
  - Incertitudes dont les effets sur les expositions ne sont pas connus.
- Incertitudes liées à l'évaluation des impacts sanitaires
  - Incertitudes induisant une surestimation des impacts sanitaires ;
  - Incertitudes induisant une sous-estimation des impacts sanitaires ;
  - Incertitudes dont les effets sur les impacts sanitaires ne sont pas connus.



## CAS CONCRET

## ESTIMATION DES ANNÉES DE VIE EN BONNE SANTÉ PERDUES EN RAISON DU BRUIT DES TRANSPORTS SUR LE TERRITOIRE DE GRENOBLE ALPES MÉTROPOLE



(Source : par Lamiot — Travail personnel, CC BY-SA 3.0)

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

Le calcul est réalisé en tenant compte de la seule exposition au bruit. Il serait cependant intéressant d'étendre ce type d'étude pour traiter de l'effet des co-expositions et de leur impact sur ce même indicateur DALY de nombre d'années de vie en bonne santé perdues.

### OBJECTIFS

- Disposer d'une évaluation quantifiée de l'impact sanitaire du bruit à l'échelle d'une métropole.
- Évaluer l'impact "économique" à cette même échelle.

### CONTEXTE

L'OMS a proposé une méthode pour déterminer la morbidité liée au bruit, en particulier les impacts sanitaires liés à la perturbation du sommeil, les maladies cardiovasculaires et la gêne. L'OMS utilise un indicateur DALY (Disability Adjusted Life Years) qui permet de quantifier le nombre d'années de vie en bonne santé "perdues" à cause de la maladie, du handicap ou d'une mort précoce, par rapport à l'espérance de vie d'un ensemble d'individus, sur une durée d'une année civile. Avec l'aide d'Acoucity, Grenoble Alpes Métropole a appliqué cette méthode à son territoire.

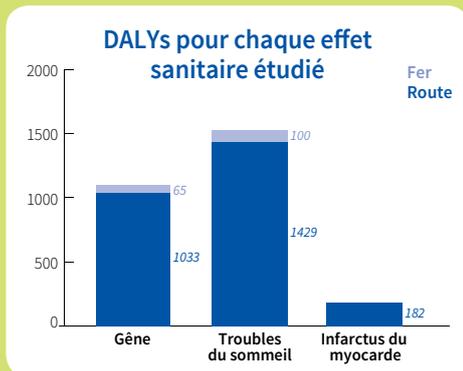
### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

- **Méthodologie d'évaluation**  
La méthodologie d'évaluation consiste à calculer les DALY pour 3 types d'impacts sanitaires liés au bruit à partir de relations dose-effet établies par l'OMS :
  - DALY attribuées à la gêne : pourcentage de population fortement gênée par le bruit en fonction du niveau sonore auquel elle a été exposée ;
  - DALY attribuées aux troubles du sommeil : pourcentage de population ayant des troubles du sommeil en fonction du niveau sonore nocturne auquel elle a été exposée ;





- DALY attribuées aux infarctus du myocarde : relations dose-effet permettant de déterminer le risque relatif en fonction du niveau sonore (mesure statistique du risque dans une population exposée par rapport à une population témoin). L'estimation des "doses" et des populations impactées est obtenue à partir des tableaux d'exposition des populations au bruit des transports (trafic routier et ferroviaire) issus des Cartes de Bruit Stratégiques (CBS) réalisées en 2014 sur les 28 communes de la Métropole.



(Source : Grenoble Alpes Métropole / Acoucity)

- Résultats**  
 Au total, 2 808 années de vie en bonne santé sont perdues chaque année dans l'agglomération grenobloise par l'ensemble de la population, à 94 % en raison des impacts du bruit des transports routiers, soit 7,2 mois perdus en moyenne sur une vie entière.  
 Les coûts économiques de la charge de la morbidité due au bruit des transports s'élèvent à près de 140 millions d'euros chaque année (en retenant la valeur de l'OMS de 50 000 € comme valeur statistique économique d'une année de vie).

**FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS**

- Illustration de l'intérêt d'intégrer les effets sanitaires aux diagnostics, voire à l'évaluation d'impact des projets lorsque ceux-ci permettent d'estimer l'évolution de l'exposition.
- Permet de "mettre des chiffres" pour rendre plus "percutants" ces impacts sanitaires, faciliter la prise de conscience de la population et des décideurs.

**POINTS DE VIGILANCE**

Les différents impacts sur la santé peuvent avoir des effets synergiques plutôt qu'antagonistes. Le fait d'additionner les DALYs pourrait donc conduire à sous-estimer les effets globaux du bruit sur la santé.  
 Par ailleurs, il existe peu d'études montrant les effets combinés du bruit et des polluants atmosphériques en milieu urbain, des recherches complémentaires sont ainsi nécessaires.

**CONTACT**

- Grenoble Alpes Métro : Céline Antunes, [celine.antunes@lametro.fr](mailto:celine.antunes@lametro.fr)
- Acoucity – [www.acoucite.org](http://www.acoucite.org)

**POUR ALLER PLUS LOIN**

- Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. OMS, 2011
- Tableaux d'estimations pour les années de vie en bonne santé perdues en raison d'une incapacité ou d'une maladie (YLD : Years Lost due to Disability) et les années de vie perdues par mortalité prématurée (YLL : Years of Life Lost), par cause et à l'échelle nationale, disponibles sur le site internet de l'OMS.



### 2.2.5 Des outils pour un traitement intégré dans l'urbanisme

Plusieurs outils ou démarches ont été élaborés pour traiter des questions environnementales lors de l'élaboration des projets d'urbanisme. Parmi ceux-ci, nous en citons deux ici : l'Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU<sub>2</sub>) de l'ADEME et la Boîte à Outils Air, Climat & Urbanisme de Grenoble Métropole.



#### L'Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU<sub>2</sub>)

L'Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU<sub>2</sub>) propose aux maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre une démarche d'accompagnement des projets d'urbanisme en matière d'environnement et d'énergie. Elle vise à permettre aux responsables de la planification territoriale, de l'urbanisme et de l'aménagement urbain d'intégrer les contraintes liées à la gestion des questions environnementales en amont des projets et aux différentes échelles de projets (SCoT, PLU, aménagement opérationnel). La démarche AEU<sub>2</sub> aide les collectivités à construire leur projet en apportant un éclairage en termes de contenu, d'analyse et hiérarchisation des enjeux, de définition d'objectifs et de moyens de les mettre en œuvre<sup>35</sup>.

Cette méthode, guidée par deux principes déterminants - l'animation et l'évaluation -, apporte une expertise qui construit et consolide *in itinere* les scénarios et choix techniques, sur la base d'objectifs et d'orientations définis avec la maîtrise d'ouvrage. L'expertise alimente le projet par des principes et actions opérationnels qui s'appuient sur la réalité des territoires. L'AEU<sub>2</sub> est un dispositif complet regroupant guide méthodologique, cahiers techniques et méthodologiques, et outils d'accompagnement (formations, fiches retours d'expériences...), pour favoriser la mise en œuvre opérationnelle<sup>36</sup>. En particulier, le dispositif AEU<sub>2</sub> comporte un guide méthodologique intégrant un volet sur l'environnement sonore ainsi qu'un cahier technique "Ambiances urbaines".

Elle est complémentaire d'autres démarches d'urbanisme durable, chacune d'elles offrant un apport spécifique aux différentes étapes des

projets d'urbanisme :

- La démarche EcoQuartier, portée par le Ministère de la Cohésion des Territoires, permet aux collectivités de s'assurer de la prise en compte transversale des enjeux de développement durable, depuis la conception des projets d'aménagement jusqu'à leur mise en œuvre<sup>37</sup> ;
- HQE™ Aménagement, élaborée par l'Alliance HQE-GBC et accompagnée d'une certification proposée par Certivéa, s'appuie sur un cadre de référence construit à partir de l'AEU<sub>2</sub>. Il se compose d'un système de management de l'opération (exigences en termes de pilotage, de participation et d'évaluation continue) et d'une approche thématique pour alimenter les réflexions des porteurs de projets.

#### • Boîte à Outils Air, Climat & Urbanisme de Grenoble Métropole

Le guide grenoblois "Boîte à outils Air, Climat & Urbanisme, pour une intégration des enjeux environnementaux dans les PLU et les opérations immobilières<sup>38</sup>" constitue une initiative très intéressante d'accompagnement des urbanistes dans l'évaluation des projets des promoteurs. Dans son livret 7, le document se place délibérément dans une posture de croisement des enjeux air et bruit, puisque ces deux enjeux y sont considérés de manière conjointe, en tant que "nuisances urbaines". Ce guide a également été très utile pour l'élaboration du PLUi de la Métropole. Ce guide est conçu comme une boîte à outils reposant sur le suivi d'indicateurs opérationnels... Le document identifie les leviers et les outils, réglementaires ou non, à disposition des communes pour alimenter leurs documents d'urbanisme et réussir des opérations immobilières intégrant les enjeux climatiques... Pour chaque thématique, ce guide propose d'une part des éléments à intégrer au Plan Local d'Urbanisme et, d'autre part, des points à traiter au cours du "copilotage" des opérations avec les porteurs de projets immobiliers".

Si ce guide publié en 2014, cible les communes pour la réalisation de leur PLU, il reste entièrement pertinent pour l'élaboration des PLUi par les EPCI. L'outil est composé de fiches réparties en sept domaines : confort d'hiver, confort d'été, végétalisation, cycle de l'eau, modes

<sup>35</sup> [www.ADEME.fr/expertises/urbanisme-amenagement/passer-a-l'action/approche-environnementale-lurbanisme-2](http://www.ADEME.fr/expertises/urbanisme-amenagement/passer-a-l'action/approche-environnementale-lurbanisme-2)

<sup>36</sup> Voir le "3 en 1 des outils pour la ville durable"

<sup>37</sup> Le label EcoQuartier se fonde sur 20 engagements rassemblés dans la charte EcoQuartier, qui peuvent s'appliquer à toute opération d'aménagement durable

<sup>38</sup> Boîte à outils Air, Climat & Urbanisme, pour une intégration des enjeux environnementaux dans les PLU et les opérations immobilières

de production énergétique, accessibilité et stationnement, réduction des nuisances urbaines. Ces thématiques sont déclinées selon 16 orientations d'urbanisme durable, dont celle visant à réduire l'exposition des populations aux nuisances sonores, et 47 objectifs projets.

Pour chaque domaine, le guide décrit les éléments pouvant être intégrés dans chaque partie du PLU : rapport de présentation, arguments pour le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD), articles du règlement à cibler et Orientations d'Aménagement et de Programmation. Au stade projet, chaque thématique fait l'objet d'une déclinaison aux différentes étapes d'élaboration, du premier contact avec l'équipe de maîtrise d'œuvre jusqu'au chantier en précisant les indicateurs à suivre et leurs modalités de calcul le cas échéant.

## LES OUTILS ET RETOURS D'EXPÉRIENCE : DES DIAGNOSTICS CROISÉS ET DU SUIVI DES ACTIONS

2.3

### 2.3.1 Pourquoi et comment croiser les cartes de qualité de l'air et de bruit ?

#### • Synergies dans les méthodes d'évaluation

La Directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe demande qu'une estimation du nombre d'habitants concernés par des dépassements des valeurs réglementaires soit réalisée. Cette estimation est basée sur le croisement entre les niveaux de pollution modélisés et les populations affectées aux bâtiments. De même, au titre de la Directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, les grandes agglomérations et les gestionnaires des grandes infrastructures ont l'obligation de publier des cartes de bruit stratégiques (CBS). Ces deux dispositifs réglementaires ont pour principal objectif l'identification des zones à enjeux, sur lesquelles axer la priorité des actions. Mais pour qui veut rechercher des actions congruentes, il faut pouvoir identifier les zones de co-exposition air-bruit.

Les transports étant la source majeure d'émissions atmosphériques et de bruit, la plupart des données entrantes nécessaires à la production de ces cartographies sont communes aux deux thématiques : caractéristiques de trafic, informations relatives aux sources émettrices, aux infrastructures, description de l'environnement en 3D (topographie, bâtiments), répartition de la population sur le territoire. Ces fortes similarités incitent à vouloir utiliser une même base de données pour les simulations de la qualité de l'air et celles de bruit.

Cette approche systémique chère aux décideurs et aux aménageurs est propice à la recherche d'une mise en cohérence de ces données avec les indicateurs environnementaux qui en résultent.



## FOCUS

L'EXPÉRIENCE DE LA  
PLATEFORME ORHANE

ORHANE<sup>39</sup> est un outil cartographique d'information et d'aide à l'identification des territoires concernés par la pollution de l'air et le bruit. Depuis l'automne 2016, cette plateforme mise à la disposition de tous les acteurs de la région Auvergne-Rhône-Alpes permet de disposer de données homogènes et cohérentes pour les deux nuisances.

Initié en 2011 par les opérateurs techniques Atmo AURA, Acoucité et Cerema, cet outil est constitué d'une base de données entrantes comprenant : la topographie 3D, les bâtiments, les populations, les réseaux d'infrastructures de transports terrestres (routier, ferroviaire), les principaux aéroports et aérodromes, les sources fixes (industries) les plus émettrices, ainsi qu'une base des protections acoustiques.

Chaque thématique environnementale fait ensuite l'objet d'une simulation séparée, selon les règles de l'art. Puis, les informations Air et Bruit sont croisées pour obtenir une carte de co-exposition de résolution spatiale 10x10m – résolution fixée par l'enjeu qualité de l'air mais suffisante pour identifier des zones de co-exposition air-bruit – et portant sur l'ensemble de la région (grille régulière composée de 700 millions de mailles).

Parallèlement à ces informations spatialisées, ORHANE propose également des indicateurs

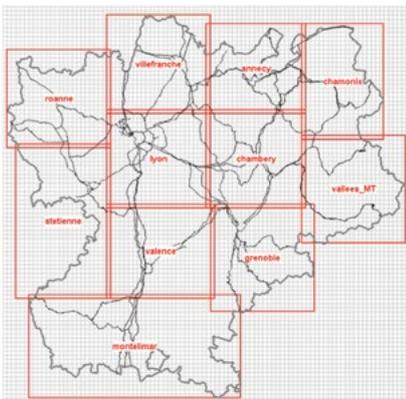
territorialisés à l'échelle des communes (et bientôt des EPCI).

En outre, ORHANE permet de répondre à plusieurs exigences réglementaires issues des directives européennes sur l'air et le bruit, avec les bénéfices suivants :

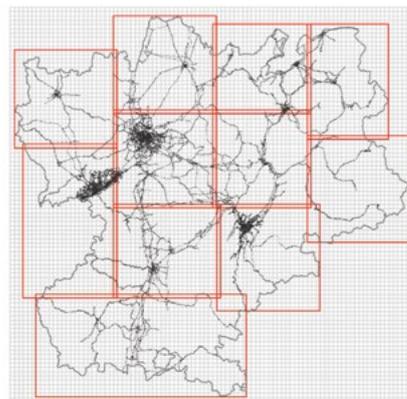
- mutualiser le travail de collecte et le traitement des données entrantes (un recueil de données unique pour les deux thématiques) ;
- améliorer la qualité des résultats en assurant une cohérence d'ensemble des données d'entrée ;
- réduire les délais de production et de mise à jour des documents réglementaires ;
- pérenniser le processus de gestion de l'information géographique ;
- communiquer de manière cohérente sur les deux thématiques ;
- fournir un outil d'aide à la décision aux acteurs du territoire, intégrant simultanément les problématiques Air et Bruit ;
- disposer d'un référentiel géographique pouvant servir d'autres problématiques ou objectifs.

Le travail d'amélioration de la qualité de l'information peut s'illustrer par la densité de sources de pollution qui étaient utilisées avant ORHANE pour les cartes Air et la nouvelle densité offerte par ORHANE.

Avant (réseau "Air")



Après (réseau "Air + Bruit")



Le réseau routier Rhône-Alpes compte 9000 km répartis en plus de 65000 brins homogènes, qualifiés par plus de 130 informations attributaires

<sup>39</sup> Observatoire Régional Harmonisé Auvergne-Rhône-Alpes des Nuisances Environnementales



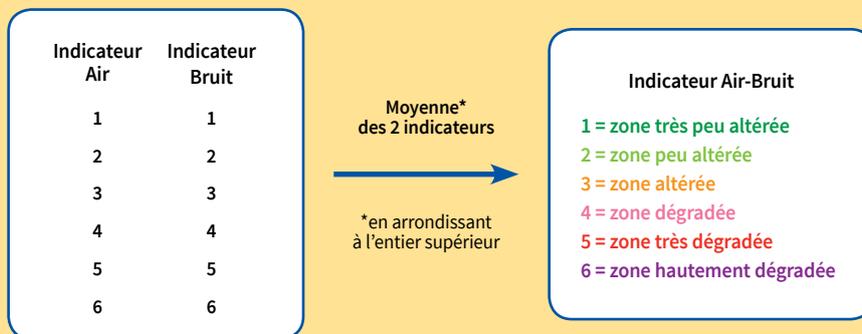
L'indicateur de co-exposition proposé est une moyenne à poids égal des deux sous-indicateurs thématiques projetés chacun sur une échelle commune en six classes :

- le sous-indicateur qualité de l'air intègre pour l'instant deux polluants (NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>) ;
- le sous-indicateur bruit intègre les sources

routières, ferroviaires et aériennes, sous la forme d'une multi-exposition sonore (pour calculer cette multi-exposition, plutôt que d'additionner les décibels relatifs au routier, au fer et à l'aérien, on utilise la méthode de la gêne équivalente [Miedema<sup>40</sup>] afin de cumuler des gênes sonores "bruit routier" équivalentes).

		Zone	Très peu altérée	Peu altérée	Altérée	Dégradée	Très dégradée	Hautement dégradée
Qualité de l'air	NO <sub>2</sub>	Concentration dans l'air (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> ≤ 11	11 < NO <sub>2</sub> ≤ 29	29 < NO <sub>2</sub> ≤ 35	35 < NO <sub>2</sub> ≤ 40	40 < NO <sub>2</sub> ≤ 60	60 < NO <sub>2</sub>
	PM <sub>10</sub>	Nombre de jours de dépassement	PM <sub>10</sub> ≤ 10	10 < PM <sub>10</sub> ≤ 25	25 < PM <sub>10</sub> ≤ 31	31 < PM <sub>10</sub> ≤ 35	35 < PM <sub>10</sub> ≤ 53	53 < PM <sub>10</sub>
Bruit	L DEN (equiv. Route)	Indice de multi-exposition (gêne, Miedema)	L DEN ≤ 55	55 < L DEN ≤ 60	60 < L DEN ≤ 65	65 < L DEN ≤ 70	70 < L DEN ≤ 75	75 < L DEN
Indicateur de co-exposition Air-Bruit			Moyenne des 2 indicateurs (voir règle de calcul ci-après)					

Détail du calcul de l'indice de co-exposition air-bruit (Source : Cerema)



À plus long terme, ORHANE pourrait servir à produire des indicateurs globaux de la qualité environnementale d'un territoire et de l'exposition de ses populations en intégrant au diagnostic d'autres paramètres comme la qualité de l'enveloppe du bâtiment ou encore les données socio-économiques et sanitaires, en partenariat avec les professionnels de la santé (ARS, ORS).

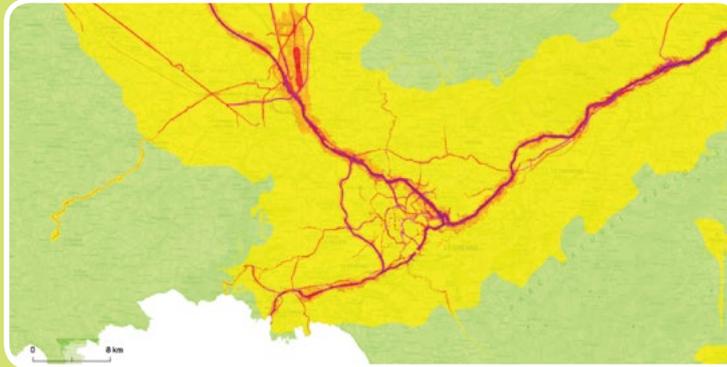
<sup>40</sup> Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance – H.M. E. Miedema – JASA – 2004





## CAS CONCRET

## SAINT-ÉTIENNE MÉTROPOLE : UTILISATION D'ORHANE POUR LE PORTER À CONNAISSANCE DES SERVICES SUR LES ZONES À ENJEUX DE QUALITÉ DE L'AIR ET DE BRUIT



Cartographie annuelle de l'indicateur moyen air-bruit à Saint-Étienne Métropole  
(Source : [www.orhane.fr](http://www.orhane.fr))



Le PPA de l'agglomération stéphanoise comprend une action "urbanisme" consistant à porter à la connaissance des collectivités et des services en charge de l'urbanisme les zones à enjeux de qualité de l'air afin d'éviter la localisation des établissements sensibles de type écoles, crèches, établissements de santé et maisons de retraite sur ces zones. Si ces zones sont réglementairement identifiées par les cartes stratégiques de la qualité de l'air,

le service Aménagement durable et planification énergétique de Saint-Étienne Métropole a pris l'habitude de fournir également au service urbanisme et aux collectivités les cartes Orhane de co-exposition air-bruit. Celles-ci donnent encore plus de poids aux enjeux sanitaires critiques qui peuvent prévaloir sur certaines zones. Par exemple, un projet d'implantation d'une micro crèche en bordure d'autoroute a été abandonné au titre de la co-exposition Air-Bruit.

## FOCUS

## PLATEFORME MUTUALISÉE D'AIDE AU DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL (PLAMADE)

La Directive européenne 2002/49/CE sur la gestion du bruit dans l'environnement exige la production de Cartes de Bruit Stratégiques (CBS), puis l'élaboration de Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE).

La réglementation française complète le dispositif en se fondant sur plusieurs axes stratégiques qui agissent sur la prévention (cartes du classement sonore des voies).

Afin d'optimiser ces deux approches, le Cerema travaille sur la possibilité de faire "converger" ces deux référentiels cartographiques. Parmi les axes de progrès envisagés et validés par les Directions Générales en 2014, figure la mise en place de la plateforme unifiée "PlaMADE" pour "Plateforme Mutualisée d'Aide au Diagnostic Environnemental"<sup>41</sup>.



<sup>41</sup> <https://www.Cerema.fr/fr/projets/plamade-plate-forme-mutualisee-aide-au-diagnostic>



Cette plateforme comporte :

- toutes les données d'entrée nécessaires à la production des cartes ;
- les fichiers de modélisations acoustiques produits à partir des données d'entrée ;
- les produits de sortie (cartes, tables d'objets ...) utiles notamment pour l'établissement des plans d'actions.

Les trois fondements de l'outil proposé sont donc :

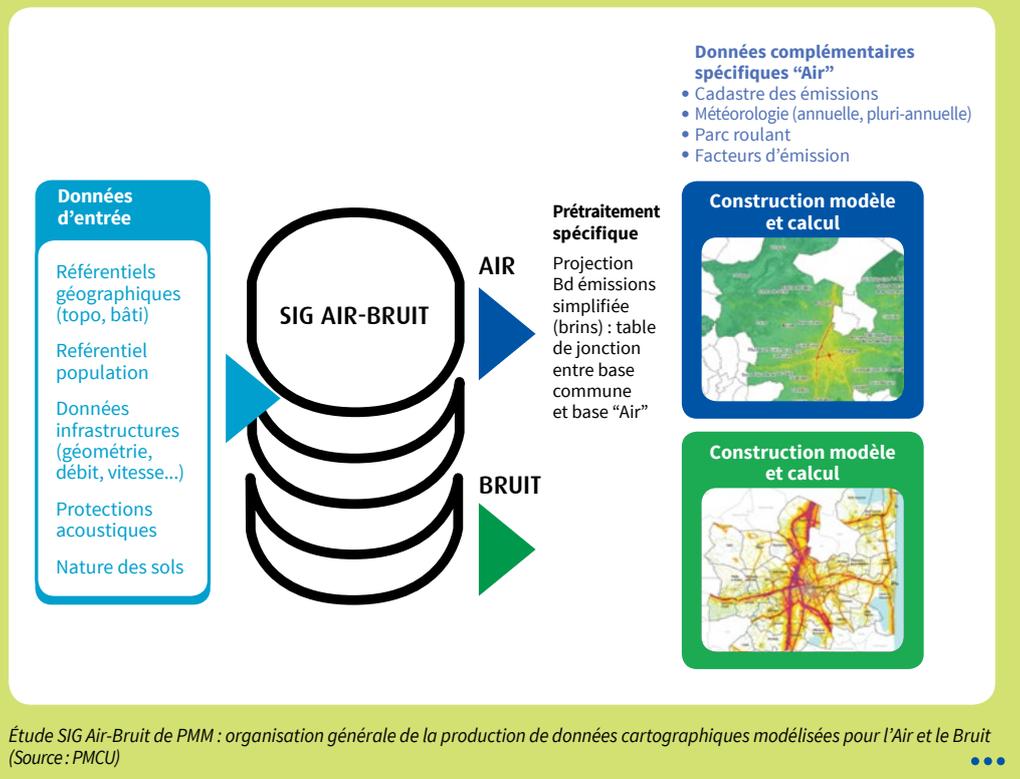
- Accueil = stockage de toutes les informations nécessaires ou utiles ;
- Partage = système collaboratif ouvert à tous les acteurs ;

- *Sûreté* = sécurité des accès et des sauvegardes.

Il se trouve que le géostandard produit dans le cadre de PlaMADE pour les données d'entrée tient compte des exigences des AASQA pour établir leurs cartographies de la qualité de l'air. Le déploiement opérationnel de PlaMADE<sup>42</sup> ouvre la perspective d'un accès facilité aux données sur l'exposition sonore. Il pourrait également favoriser le développement des approches croisées "Air-Bruit", en toute cohérence et sur l'ensemble du territoire national.

## CAS CONCRET

### PERPIGNAN-MÉDITERRANÉE COMMUNAUTÉ URBAINE (PMCU) : ÉTUDE DE LA POSSIBILITÉ D'UTILISER UNE MÊME BASE DE DONNÉES POUR DES SIMULATIONS DE LA QUALITÉ DE L'AIR ET DE BRUIT



<sup>42</sup> Déploiement prévu à partir de 2019





### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- *Enrichir le SIG d'une collectivité avec des informations qui favorisent une meilleure réalisation des cartes stratégiques de bruit et des simulations de qualité de l'air.*
- *Obtenir une meilleure comparaison des résultats des deux types de simulations.*
- *Mettre à disposition de la collectivité des données transversales utiles à d'autres services.*
- *Sensibiliser les décideurs à des domaines qui ne leur sont pas familiers, et les convaincre de leur complémentarité avec les autres compétences de la collectivité.*

### OBJECTIFS

- *Mutualiser la collecte de données utiles aux deux problématiques de la qualité de l'air et du bruit.*
- *Améliorer la qualité des produits de sortie en assurant une cohérence d'ensemble des données d'entrée.*
- *Réduire les délais/coûts de production des documents réglementaires.*
- *Pérenniser le processus de gestion de l'information géographique.*
- *Communiquer de manière cohérente sur les deux thématiques.*
- *Fournir un outil d'aide à la décision aux acteurs du territoire, intégrant simultanément les problématiques Air et Bruit.*
- *Disposer d'un référentiel géographique pouvant servir d'autres problématiques : caractérisation du parc bâti, plans et programmes d'aménagement (PDU, SCoT, PLU...), identification des inégalités environnementales, diagnostics santé-environnement.*

### CONTEXTE

- *Perpignan Méditerranée Communauté urbaine (PMCU), en partenariat avec AIR Languedoc - Roussillon (AIR-LR), a conduit une étude de faisabilité d'un SIG commun Air-Bruit. Un rapport tiré de ce projet et publié par l'ADEME<sup>43</sup> apporte des détails techniques sur le processus de production de cartographies Air-Bruit. Ce retour d'expérience fournit également des enseignements sur le mode de gouvernance adapté à la constitution d'un tel SIG.*
- *Les objectifs initiaux de la plateforme ORHANE (Observatoire Rhône-Alpin des Nuisances Environnementales), à savoir mutualiser les données nécessaires aux modélisations des nuisances, présentent de fortes similitudes avec les intentions de PMCU, qui a donc choisi de confier la réalisation du projet au Cerema, qui participe depuis 2010 au projet ORHANE, aux côtés de Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes et Acoucité.*

### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

- *Ont été retenues, pour le SIG commun, les quatre sources de nuisances faisant l'objet d'exigence dans la directive européenne sur le bruit : routes, réseau ferroviaire, aéroport, ICPE soumises à autorisation. Elles présentent toutes, à des degrés variables un intérêt de mise en commun pour l'air et le bruit.*
- *Utilisation de référentiels géographiques communs afin d'assurer la cohérence et la pérennisation du SIG :*
  - *Bd TOPO® de l'IGN, qui peut servir de base à la gestion des informations des réseaux de transports ;*
  - *référentiel commun pour les données relatives aux bâtiments, afin de mutualiser les données nécessaires aux opérations d'estimation des populations exposées.*

<sup>43</sup> Étude de la possibilité d'utiliser une même base de données pour des simulations de la qualité de l'air et de bruit – Rapport 72p – ADEME. Batut M., Olny X., Miège B., Rosso-Darnet A., Lunain D., Long M. – 2016

• **Données d'entrées : identification des convergences Air-Bruit**

	Données communes Air-Bruit		Données Bruit		Données Air	
	Données d'émission	Hors émission	Données d'émission	Hors émission	Données d'émission	Hors émission
<b>Routes</b>	Trafic (TMJA, vitesse, composition % PL)	Localisation, typologie	Nature des revêtements, allure	Protection acoustiques verticales	Parc roulant, facteurs d'émission	
<b>Fer</b>	Trafic, vitesse, composition (type de trains)	Localisation	Armement de la voirie, aiguillage...	Protections acoustiques verticales	Nature des émissions en fonction des types de trains, motrices	
<b>Aérien</b>	Trafic, composition	Localisation	Emissions unitaires des aéronefs	Trajectoires	Facteurs d'émission	
<b>Industries</b>		Localisation, identification, définition du périmètre	Puissance, directivité des sources, niveaux en limite de propriété	Localisation fine des sources	Localisation fine des sources, nature des polluants émis, type de source	

Convergences Air-Bruit pour les données relatives aux sources (Source : ADEME<sup>43</sup>)

	Données communes Air-Bruit	Données Bruit	Données Air
<b>Topographie</b>	Bd Topo 3D	Utilisation de l'information 3D ou 2.5D (enrichissement données plateformes, orographie...)	Simplification si 3D non utilisée
<b>Bâtiments</b>	Données géographiques et géométriques identification (Bd Topo 3D, Carto, Bd Parcellaire, Majic3, data.gouv.fr)	Utilisation de l'information 3D pour le modèle de propagation	"Rugosité", Info "rues Canyon" si 3D non utilisée
<b>Bâtiments sensibles (enseignement, éducation...)</b>	Localisation, identification (Bd Topo 3D, Finess, Majic3)		
<b>Population</b>	Couche commune (affectation aux bâtiments pour décompte de la population exposée)		
<b>Météorologie</b>		Incluse dans la NMPB08 (moyenne pluriannuelle)	Données spécifiques annuelles
<b>Nature des sols</b>		Indépendance des sols	

Convergences Air-Bruit pour les autres données (Source : ADEME<sup>43</sup>)

**FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS**

- Si choix de ne pas externaliser la gestion de la base de données, nécessité de disposer de ressources humaines conséquentes au sein du service SIG.
- Associer en amont les futurs acteurs gestionnaires ou utilisateurs locaux.

**FINANCEMENT**

- Financement ADEME (second appel à projet AACT'Air)

**POINTS DE VIGILANCE**

- La collecte des données entrantes nécessite de bien clarifier les conventionnements avec les fournisseurs de données (de nombreux acteurs à solliciter).
- L'utilisation d'une base de données de réseaux communs (routes en particulier) dimensionnée par les exigences de modélisation du bruit implique une augmentation significative du nombre de sources à intégrer par l'ASQAA dans ses simulations. Cette évolution induit, au moins lors de la première mise en place, une augmentation du temps opérateur et de calcul.
- Organisation de la gouvernance (choix des acteurs/partenaires participant à son élaboration et à sa gestion) : paramètre essentiel pour pouvoir garantir un succès pérenne de ce type de dispositif.

**CONTACT**

- Frédéric Porte – Perpignan Méditerranée Communauté Urbaine  
f.porte@perpignan-mediterranee.org

**POUR ALLER PLUS LOIN**

- Étude de la possibilité d'utiliser une même base de données pour des simulations de la qualité de l'air et de bruit – Rapport 72p – ADEME Batut M., Olny X., Miège B., Rosso-Darmet A., Lunain D., Long M. – 2016

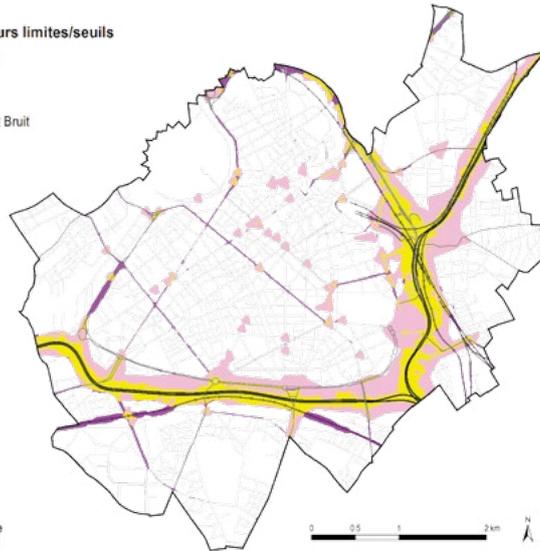


## CAS CONCRET

## MÉTROPOLE EUROPÉENNE DE LILLE : PREMIER PPBE INCLUANT LA PRISE EN COMPTE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

### Dépassements des valeurs limites/seuils

- Bruit routier et ferré
- NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>
- Dépassement Air et Bruit



Carte de variation entre le scénario "2030 PDU" et le scénario "2030 Fil de l'eau" - Filaire routier

Tableau des cumuls en km par gain acoustique associé.

(Source : Impédance Environnement)

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- Croisement des cartes stratégiques de bruit et des cartes stratégiques de la qualité de l'air.
- Proposition de solutions d'amélioration à synergie Air et Bruit.

### OBJECTIFS

- Analyser les zones qui constituent simultanément un enjeu pour la pollution atmosphérique (en particulier le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et les particules fines PM<sub>10</sub>) et pour le bruit généré par les infrastructures de transport.
- Tenir compte de ces zones à enjeux pour concevoir des actions du PPBE à double visée d'amélioration de la qualité de l'air et de l'environnement sonore.

### CONTEXTE

- La Ville de Lille a souhaité intégrer un volet sur la qualité de l'air dans les analyses réalisées dans le cadre du PPBE. Ce souhait repose sur le fait que les infrastructures de transport routier constituent la principale source de nuisance sonore sur le territoire de la MEL, ainsi que l'une des sources majeures d'émission de polluants atmosphériques.

### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

#### Diagnostic

- Les cartes d'exposition au bruit issues de la cartographie stratégique du bruit, et les cartes de concentrations en polluants atmosphériques (cartes stratégiques Air) produites par ATMO Hauts de France, ont été exploitées.
- Mise en évidence des zones et bâtiments où les valeurs réglementaires sont dépassées à la fois pour les concentrations en polluants





atmosphériques et pour le bruit. Sur une population de 1 million d'habitants, seulement 6 659 personnes sont concernées par un dépassement Air et Bruit (exposés simultanément à des concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> et/ou PM<sub>10</sub> supérieures aux valeurs limites de 40µg/m<sup>3</sup>, et à des niveaux sonores de bruit routier et/ou de bruit ferré supérieurs aux valeurs seuils associées à l'application de la directive européenne 2002/49/CE).

- Des zones à enjeux "Pollution Atmosphérique et Bruit", basées sur les zones à enjeux bruit du PPBE de la Métropole Européenne de Lille (MEL), ont été définies afin de cadrer la mise en œuvre de solutions de réduction des nuisances de manière optimale. Neuf zones ont ainsi été définies, dont deux principales autour de l'A25 et de la N356 (infrastructures à l'origine de la majorité des dépassements simultanés). Ces deux zones prennent en compte 70 % de la population, ainsi que 100 % des établissements de santé, et 80 % des établissements scolaires en double surexposition.

#### Actions

- Sur les zones à enjeux principales, associées à l'A25 et à la RN356, les dépassements de valeurs réglementaires sont très importants, et plusieurs mesures combinées sont proposées : réduction de la vitesse à 70 km/h, régulation de trafic et modernisation du parc automobile.
- Sur les zones à enjeux secondaires, la double surexposition est générée par des voies de distribution, ce qui rend la mise en place d'actions plus aisées au travers du PDU par exemple. Les actions proposées visent à limiter l'usage de la voiture, à encourager l'utilisation de véhicules moins polluants (particulier, utilitaires et poids lourds), et à réguler le trafic en limitant la vitesse et en fluidifiant la circulation.

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

##### Méthodologie de cartographie croisée

- Calage des données d'entrée (données portant sur des périodes de temps différentes, des échelles différentes).
- La précision des modèles de dispersion des polluants atmosphériques est déterminée par la méthodologie propre aux cartes stratégiques air, nécessité notamment d'un calage avec les données des capteurs de mesure.
- Importance de la collaboration entre l'équipe métier et l'équipe SIG (vision "métier" indispensable pour interpréter les données).

#### POINTS DE VIGILANCE

- Charge de travail importante pour le recueil des données d'entrée : chaque jeu de données a ses limites, car les éléments ne sont pas forcément produits pour cette finalité.
- Problème lié à la précision des données de pollution : avant de pouvoir communiquer sur l'exposition des établissements sensibles, il faudrait impérativement recalibrer les données par des campagnes de mesure.
- Problème d'effets de seuil : pour lisser ces effets de seuils, il faudrait mailler le territoire par reconcaténation au polygone et expression sur une maille prédéfinie (par exemple : 50m x 50m). C'est la réflexion qui est en cours à la MEL.
- Problèmes liés aux valeurs limites : quelques 600 personnes seulement concernées par la double surexposition. La MEL a exploité le modèle avec des valeurs limites inférieures,





...

mais les résultats sont très fluctuants, suivant le modèle utilisé, ce qui pose des difficultés d'interprétation.

- Les actions sur le trafic ne sont pas facilement applicables, et doivent être accompagnées de mesures de sensibilisation et de communication.

#### CONTACT

- Grégory Herman – Chargé d'études Méthodes Expertises – Métropole européenne de Lille – gherman@lillemetropole.fr

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- Élaboration des Plans de prévention du bruit dans l'environnement : analyse croisée Qualité de l'air et Bruit sur la ville de Lille – Impédance pour la Métropole européenne de Lille – Mars 2015



## CAS CONCRET

### CARTOGRAPHIE DU CUMUL DE NUISANCES ET POLLUTIONS ENVIRONNEMENTALES EN RÉGION ÎLE-DE-FRANCE



Les cumuls de nuisances environnementales en Île-de-France

(Source : plateforme Cartoviz de l'IAU IdF)

#### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

Identification de “points noirs environnementaux” (zones géographiques surexposées, cumulant plusieurs problèmes environnementaux). Polluants pris en compte : pollution de l'air, bruit, pollution des sols, pollution de l'eau distribuée, pollutions chroniques diffuses liées à l'activité industrielle.

#### OBJECTIFS

- Élaboration d'une géographie de la multi-exposition environnementale à l'échelle régionale, passant par la collecte et mise en commun de données environnementales et leur croisement dans un système d'information géographique régional.
- Diffusion et accessibilité au public d'une cartographie présentant le nombre cumulé de nuisances et pollutions, observé à la maille d'étude 500 m x 500 m.

...

...  
**CONTEXTE**

- Carte élaborée dans le cadre de l'action 6 du Plan Régional Santé Environnement (PRSE 2), copilotée par l'ORS et la DRIEE Île-de-France.

**RÉSULTATS / RÉALISATIONS**

- 5 indicateurs de nuisances et pollutions ont été utilisés :
  - pollution de l'air - Indicateur synthétique de dépassement des valeurs réglementaires pour 5 polluants (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>; Ozone; NO<sub>2</sub>; benzène) pour au moins une année (sur la période 2010-2012) (Source : Airparif);
  - bruit - Indicateur synthétique de dépassement des valeurs limites en Lden, pour la période 2006-2012, pour quatre sources de bruit (routes, voies ferrées, aéronefs et ICPE) (Source : BruitParif);
  - pollution des sols, pollution de l'eau distribuée, présence de sites industriels.
- Carte interactive permettant d'afficher :
  - pour chaque maille, les données sur les types de nuisances et pollutions représentés ainsi que l'ampleur spatiale du ou des phénomènes (en % de la surface de la maille);
  - pour chaque intercommunalité francilienne, la part du territoire concerné par le nombre indiqué de nuisances ainsi que la part de la population y résidant.
- Une méthodologie pour révéler ces situations territoriales critiques de multi-exposition a été développée.
- 864 secteurs cumulant au moins 3 nuisances environnementales ont ainsi pu être recensés.

**FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS**

- Dans le souci de développer une approche simple, lisible, qui puisse être affinée par la suite, le choix s'est porté vers :
  - l'approche multicritères mettant en évidence le nombre de nuisances et pollutions présents dans la maille, plus discriminante d'un point de vue géographique et plus intuitive sur le plan statistique que l'approche par la surface moyenne (éventuellement pondérée) des phénomènes, à l'échelle de l'unité spatiale de référence;
  - aucune pondération introduite pour hiérarchiser les différents problèmes environnementaux entre eux;
  - la multi-exposition intra-thématique n'a pas été considérée pour le bruit, la pollution de l'air ou encore la pollution de l'eau;
  - les problèmes environnementaux ont été intégrés sans aucun seuil minimum de présence à la maille.
- Perspectives d'approfondissement :
  - améliorer le pouvoir discriminant de certains indicateurs de nuisances (meilleure prise en compte de l'intensité spatiale des phénomènes renseignés) et affiner la résolution géographique des croisements;
  - intégrer l'offre en aménités environnementales (exemple : présence végétale, présence d'espaces récréatifs et de ressourcements, etc.) comme potentiels facteurs de compensation des nuisances environnementales ou de handicap additionnel si cette offre s'avère carencée;
  - produire de nouveaux croisements avec d'autres dimensions socio-démographiques et socio-économiques, permettant de rendre compte de situations cumulatives, pouvant accentuer





...

et aggraver les inégalités de santé (exemple : répartition de l'offre de soins et son accessibilité) ;  
 - développer une approche subjective et perceptive pour pouvoir affiner ces diagnostics.  
 - progresser sur la mesure de l'exposition, pour dépasser l'approche fondée uniquement sur la population résidente, en développant des approches intégrant l'ensemble des lieux fréquentés par les individus (exemple : approches budget espace temps).

#### POINTS DE VIGILANCE

- Carte présentant un cumul de nuisances et pollutions, ramenées à une même maille géographique, mais ne permettant pas de renseigner la multi-exposition réelle de la population.
- La surface des différentes nuisances présentes dans une maille n'est pas un indicateur d'intensité des phénomènes représentés.
- Le nombre cumulé de nuisances à la maille ne permet pas d'établir si les différentes nuisances se superposent exactement au sein de la maille.

#### CONTACT

- Christian Thibault, directeur du département environnement urbain et rural, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Île-de-France - christian.thibault@iau-idf.fr

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- <https://cartoviz.iau-idf.fr>
- Inégalités environnementales - Identification de points noirs environnementaux en région Île-de-France – Mars 2016

### 2.3.2 Qu'attendre des modélisations 3D Air et Bruit ?

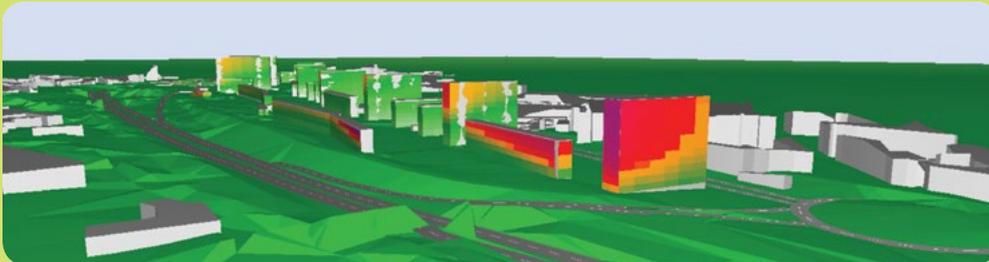
L'utilisation de la modélisation 3D apporte un nouveau regard. Elle met notamment en évidence des phénomènes non visibles avec la 2D, pour l'air comme pour le bruit, tels que la stagnation de polluants au droit de certains bâtiments, la concentration des polluants dans les rues canyon ou l'existence de points noirs du bruit à certains étages des bâtiments. Ces approches présentent notamment l'avantage de permettre aussi la modélisation des échanges de chaleur et des microclimats urbains. La modélisation 3D peut en outre objectiver certains antagonismes entre des formes d'îlots compactes, donc propices à la protection contre le bruit, mais non favorables à la dispersion des polluants. Côté inconvénients, les modèles de mécanique des fluides en trois dimensions nécessitent une puissance de calcul importante et des temps de calcul assez longs.

De surcroît, le coût de ces études est plutôt élevé. Enfin, le réalisme des représentations graphiques en 3D est indéniablement un atout quand il s'agit de présenter des options d'aménagement aux décideurs.

Dans le cas concret qui suit (**quartier Faubourg de Béthune à Lille**, page suivante), Gaetan Cheppe, Chef du Service Risques Urbains et Sanitaires à la Direction de l'Habitat de la Ville de Lille, estime quant à lui que sur un projet d'ampleur, les modélisations en 3D représentent un "*coût faible au regard du montant des investissements*". Selon lui, sur ce projet, "*ces modélisations 3D ont favorisé la mise en lumière d'impacts différents selon les zones étudiées, tant horizontalement que verticalement, ce que la cartographie 2D ne met pas en évidence*". Ainsi, l'analyse a révélé l'existence de "points noirs bruit" dans les étages supérieurs de plusieurs bâtiments. Concernant le volet Air, des phénomènes de stagnation des polluants en pied d'immeubles ont été identifiés.

CAS CONCRET

## VILLE DE LILLE : MODÉLISATION 3D AIR ET BRUIT DU QUARTIER FAUBOURG DE BÉTHUNE



Modélisation 3D de l'exposition aux bruits issus du trafic routier du quartier Faubourg de Béthune  
(Source : Ville de Lille)

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- Volonté de créer une synergie entre tous les acteurs permettant un traitement simultané du bruit, des polluants et d'autres thématiques de l'aménagement.
- Utilisation de modélisations 3D afin d'apporter une vision fine des nuisances et de mettre en évidence les problématiques présentes dans le quartier étudié.  
Utilisation des mêmes modèles afin de simuler les impacts de nouveaux aménagements et d'être en mesure de préconiser des recommandations pour l'aménagement ou le réaménagement du quartier.
- Modélisation d'un projet novateur intégrant un écran acoustique, stoppant la dispersion des polluants, support d'une agriculture urbaine, d'une production d'énergie renouvelable, et disposant d'un revêtement dépolluant.
- Prise en compte transversale des pressions environnementales et approche de santé et de bien-être global des habitants.

### OBJECTIFS

- Amélioration du cadre de vie des habitants dans un processus de renouvellement urbain.
- Profiter d'un contexte expérimental pour s'inscrire dans un cadre large de développement durable et créer une synergie entre tous les acteurs. Volonté de sortir des approches cloisonnées à une seule thématique. Les agents de la MEL (Métropole européenne de Lille) se sont en effet aperçus depuis longtemps que le fonctionnement segmenté ne permettait pas d'avoir une approche santé environnementale au sens global du terme.
- Déterminer les secteurs géographiques sous forte influence du trafic routier et obtenir une cartographie fine des niveaux de pollution.
- Apporter des éléments en termes d'impact sur la qualité de l'air et le bruit, afin d'éclairer les choix qui seront réalisés (intervention sur les espaces extérieurs, réhabilitations, démolitions éventuelles, constructions neuves, ...) dans le cadre du projet urbain de la ville.





### CONTEXTE

- La Ville de Lille souhaite améliorer la prise en compte des pressions environnementales dans les décisions d'aménagement afin de veiller à réduire les nuisances et donc rendre la ville plus agréable pour les habitants. Une démarche expérimentale a par conséquent été mise en œuvre dans le cadre du projet de réaménagement du quartier Faubourg de Béthune qui constitue un site d'intérêt au vu de sa proximité avec un tronçon de l'autoroute A25. La généralisation de cette démarche à l'ensemble de la ville sera ensuite envisagée.
- Situé au sud-ouest de la ville de Lille, le quartier du Faubourg de Béthune est un quartier relativement récent, aménagé dans l'urgence à la fin de la seconde guerre mondiale face à une forte problématique de logement. Les grands ensembles d'habitat social ont été élevés sur les anciennes fortifications du XIX<sup>e</sup> siècle. Le quartier est aujourd'hui coupé en deux horizontalement par le périphérique, construit dans les années 60, situé en tranchée et générateur de fortes nuisances. Le quartier abrite 1 500 logements, ainsi que des équipements publics sensibles (crèche, écoles, foyers) et des zones de loisirs (jardins familiaux, parcs).

### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

Une approche acoustique globale a été menée pour le bruit : mesures à l'extérieur et à l'intérieur afin de connaître la qualité sonore intrinsèque des logements. Réalisation d'une modélisation 3D, pour préconiser des recommandations en termes d'aménagement/réaménagement du quartier. L'étude ne part pas de rien puisque des cartes de bruit et des cartes de polluants ont déjà été réalisées par la métropole et par le réseau Atmo. Cela apporte une première vision de la situation et les cartes indiquaient déjà des expositions importantes. L'étude a cherché à se baser le plus possible sur les valeurs préconisées par l'OMS, celles-ci sont certes difficiles à atteindre dans les grandes villes mais il a été jugé important de les ramener aux centres des réflexions.

- Au niveau du bruit, l'étude a permis de mettre en évidence des surexpositions (5 % des logements en situation de Points Noirs du Bruit, 24 % des logements en exposition significative) sur différents immeubles et également sur des groupes scolaires (des cours d'école exposés à des niveaux particulièrement élevés) qui n'avaient pas été mises en évidence par les cartes de bruit de la MEL.

La modélisation 3D permet de confirmer ce que les cartographies sonores, réalisées lors de l'étude, à différentes altitudes laissaient envisager (présence de logements surexposés) mais également d'identifier précisément les logements concernés. Elle permet également d'observer que la butte paysagère qui a été constituée avec les déblais de l'autoroute permet d'avoir une ombre acoustique et permet des niveaux sonores un peu moins importants au niveau des rez-de-chaussée et des premiers étages.

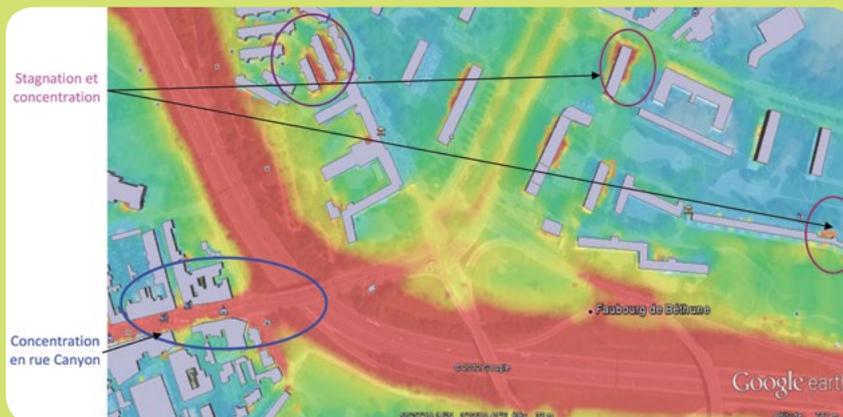
Le bureau d'études spécialisé sur le bruit a ensuite été mis à disposition auprès de l'équipe urbaine pour qu'il puisse être force de proposition dans l'aménagement de ce quartier. Des recommandations (formes, exposition des bâtiments...) plus ou moins "évidentes" ont été communiquées, en gardant





- à l'esprit que les équipes urbaines ont beaucoup de contraintes et n'ont pas forcément eu la possibilité de tout anticiper.
- En ce qui concerne la qualité de l'air, le flux journalier de 150 000 véhicules (avec congestion le matin) provoque une situation avec d'importantes nuisances. Un premier état général était disponible via les cartes de l'Atmo. Il y a eu un souhait de compléter cet état des lieux par une vaste campagne de mesure sur le secteur pour deux raisons : renseigner la teneur en polluant et calibrer les modèles 3D.

Une surexposition a été détectée pour plusieurs polluants par rapport aux niveaux d'expositions fournies par le réseau Atmo (notamment sur le dioxyde d'azote). Au niveau réglementaire, les objectifs qualité ne sont pas respectés et les valeurs limites sont parfois dépassées (en dioxyde d'azote notamment, dépassement de la valeur moyenne pour la protection de la végétation avec les NO<sub>x</sub>, problème aussi sur les particules où les valeurs cibles ne sont pas atteintes). La modélisation est basée sur la topographie du site, sur l'altimétrie, les différents flux routiers sur les brins environnant. Les vues en 3 dimensions de la pollution atmosphérique permettent de visualiser des phénomènes qui n'apparaissent pas avec la modélisation 2D.



Mise en évidence des effets de stagnation et de concentration des polluants à l'aide de la modélisation 3D et du modèle de dispersion des fluides

(Source : Ville de Lille)

Des phénomènes de stagnation et de concentration des polluants sont notamment identifiés sur certaines zones (voir figure ci-dessus), cela alors qu'elles sont assez éloignées de la source. Ceci s'explique par la dispersion des polluants qui ne se fait pas dans des conditions optimales (mise en évidence d'un "effet canyon" dans des rues où le rapport entre largeur de la rue et hauteur des bâtiments est trop faible). La stagnation et l'accumulation se traduit par une forte exposition dans ces zones. La modélisation permet de voir que la butte paysagère limite la dispersion des polluants. Bien que ces conclusions dépendent du sens des vents dominants, les modélisations prouvent que des aménagements comme la butte ou l'écran antibruit ont des effets d'ombre similaires qui sont bénéfiques pour le bruit et l'air. De la même façon que pour le bruit, le bureau d'études spécialisé sur l'air a apporté des conseils et des orientations à l'équipe urbaine. À noter que certaines recommandations comme celle d'éviter les formes d'îlots non favorables à la dispersion de polluants ont présenté un antagonisme avec les mesures que l'autre bureau d'études pouvait proposer pour





le bruit (où les formes denses sont privilégiées car elles permettent de créer des zones plus calmes). Parmi les conclusions notables, la réhausse de la butte a un effet intéressant d'écran sur la pollution de l'air, le positionnement des entrées d'air des logements est également à prendre en compte du fait de la présence de concentration de polluants en certains endroits.

- Il est important de souligner que la mise en compatibilité du souhait de densifier le secteur et de prendre en compte les nuisances, dans le but de créer un cadre de vie agréable et favorable à la santé, nécessite d'étudier, en parallèle aux dispositions constructives, des mesures permettant de réduire à la source les nuisances. Une des possibilités considérées consiste à réduire la vitesse de 80 à 70 km/h sur le tronçon d'autoroute adjacent, ce qui permettrait d'atténuer un peu le bruit et les concentrations de polluants.
- Parmi les aménagements/réaménagements du quartier considérés, la modélisation 3D de l'efficacité d'un mur écran antibruit a été réalisée, permettant d'évaluer les gains acoustiques avec différents scénarios de hauteur du mur. Ci-dessous, les résultats d'un scénario d'étude par rapport à l'état initial.

Modélisation de l'impact d'un écran acoustique au sein de différents scénarios :

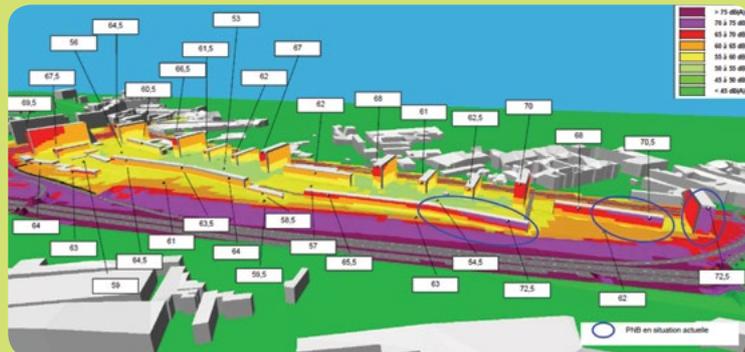


Figure 1 : Situation sans écran (Source : Ville de Lille)

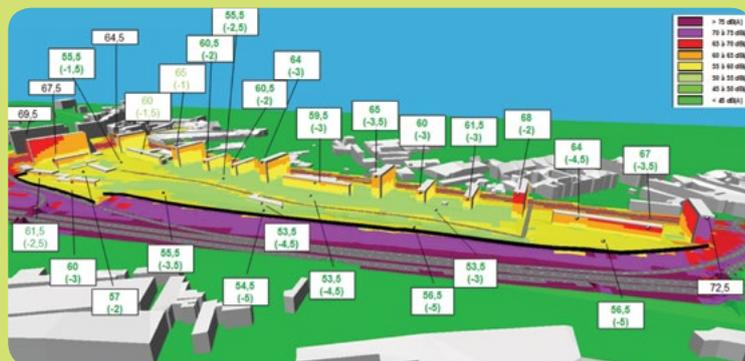


Figure 2 : Situation avec écran acoustique (Source : Ville de Lille)

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

- Un projet de règlement pour la prise en compte du bruit dans les PLU a été rédigé. Cela afin de transcrire tous les enjeux identifiés lors du projet dans les documents réglementaires.



- Aspect novateur du projet et intégration d'une démarche de développement durable au sens large : un écran acoustique support d'une agriculture urbaine, d'une production d'énergie renouvelable et disposant d'une fonctionnalité dépolluante.
- Les résultats des modélisations 3D permettent d'objectiver les nuisances, en effet tant que l'on ne dispose pas d'éléments qui permettent de mettre en évidence les problématiques, celles-ci ne sont que peu ou pas appréhendées.
- Ce projet a cherché à prendre en compte la santé dans l'aménagement urbain et à s'ouvrir à de nouveaux outils comme l'EIS (Évaluation d'Impact sur la Santé) cela afin de porter un regard vraiment transversal sur le bien-être des habitants. Une démarche transversale de ce type est actuellement de nouveau menée sur un autre projet urbain de la Ville de Lille (friche Saint-Sauveur).

#### FINANCEMENT

- Concernant la réalisation de l'étude comprenant les diverses modélisations 3D, il faut souligner que, au regard des investissements qui vont être menés sur ce quartier, le coût de cette étude reste peu élevé : environ 120 000 € pour toutes ces simulations et leurs enseignements par rapport à plus de 50 000 000 € d'investissements prévus sur ce quartier. Les modélisations acoustiques 3D tendent aujourd'hui à devenir relativement abordables.
- Concernant la mise en place de l'écran acoustique, un réel travail commercial de recherche de financements a été mené afin de financer le projet d'une valeur de 10 millions d'euros. La moitié est apportée par l'État au titre de l'innovation. L'écran à lui tout seul coûte 3 millions d'euros, l'ensemble des éléments supplémentaires comme les éventuels panneaux photovoltaïques et serres intégrées dans l'écran représentent un coût supplémentaires important.

#### POINTS DE VIGILANCE

- Nécessité de penser opérationnalité si l'on souhaite que les mesures soient mises en œuvre et respectées et que cela ne reste pas au stade du "catalogue des bonnes intentions". La grande difficulté réside dans la mise en œuvre opérationnelle.

#### CONTACT

- Gaëtan Cheppe – Chef du Service Risques Urbains et Sanitaires - Direction de l'Habitat de la ville de Lille [gcheppe@mairie-lille.fr](mailto:gcheppe@mairie-lille.fr)

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- Rapports produits suite aux études réalisées sur le quartier Faubourg de Béthune
- Diaporamas présentés par Gaëtan Cheppe :
  - études Bruit et air : intégration des contraintes environnementales dans l'aménagement du quartier Faubourg de Béthune - Dunkerque, avril 2015 - diaporama avec commentaire audio - 30 min);
  - émergence d'une stratégie urbaine pour un quartier à "Santé Positive" sur le secteur Concorde à Lille. Exemple à travers l'air et le bruit - Assises de l'environnement sonore, novembre 2017.



3 <sup>1</sup>	LES ACTIONS RELEVANT DE LA PLANIFICATION URBAINE	65
3 <sup>2</sup>	LES ACTIONS LIÉES AUX TRANSPORTS ET À LA MOBILITÉ	95
3 <sup>3</sup>	LES ACTIONS SUR LE BÂTI	136
3 <sup>4</sup>	LES ACTIONS LIÉES À LA PRODUCTION D'ÉNERGIE	150

### Un co-bénéfice au rendez-vous, à condition de...

La planification urbaine, la gestion de la mobilité et l'organisation du transport, les actions de rénovation de l'habitat ou la production d'énergie d'origine renouvelable sont autant d'actions portées par les PCAET pour lutter contre la pollution et le changement climatique ou améliorer la qualité de l'air. Ce sont également autant d'occasions de récolter des bénéfices en faveur de la lutte contre le bruit.

Profiter des occasions en veillant à éviter les effets contraires. Déterminer l'implantation d'un bâtiment ou la largeur d'une rue pour faire baisser la pollution, végétaliser un immeuble ou un espace public pour lutter contre les îlots de chaleur sont des opportunités pour faire baisser les nuisances sonores, à condition de maîtriser les interactions. Des principes de fond peuvent être inscrits dans le Règlement et les Orientations d'Aménagement et de Programmation du PLU.

Que ce soit pour la réduction des émissions de GES, la lutte contre la pollution ou une politique de sécurité routière, les outils pour intervenir sur le trafic sont nombreux et les co-bénéfices en termes de nuisance sonore peuvent être au rendez-vous. À condition d'avoir en tête l'ensemble des paramètres et d'anticiper par exemple, qu'une déviation du trafic de transit peut engendrer des nuisances sonores sur de nouveaux quartiers.

Des actions sont menées en faveur de la rénovation énergétique des bâtiments qui devraient se coupler d'une rénovation acoustique, certaines collectivités proposant d'ailleurs des aides couplées dans ce sens. Les co-bénéfices seront au rendez-vous si l'on prend les précautions nécessaires en choisissant les dispositifs et les matériaux adéquats, certains pouvant engendrer une dégradation de la performance acoustique.

Axe stratégique des PCAET, le développement des énergies renouvelables pose relativement peu de problème de bruit. Le respect de normes et préconisations constituent le plus souvent une garantie de l'absence de nuisances sonores des installations. En revanche, il est nécessaire de rester vigilant aux problèmes posés par le transport par camions lié à certaines installations, comme les chaudières à bois et les usines de méthanisation, ... notamment.

3.1 | LES ACTIONS RELEVANT  
DE LA PLANIFICATION URBAINE

**AMÉNAGEMENT URBAIN :  
UN CO-BÉNÉFICE TRÈS ACCESSIBLE**

*Si la nature du trafic routier et les conditions météorologiques restent les principaux déterminants de la pollution atmosphérique et du bruit en milieu urbain, la largeur de la rue, la hauteur du bâti, la continuité des façades, les formes architecturales, constituent des paramètres avec lesquels les aménageurs peuvent jouer pour conjuguer l'adaptation au changement climatique et notamment la limitation de la surchauffe urbaine, la qualité de l'air, la maîtrise de l'énergie et la protection contre le bruit.*

*Élément en pleine expansion de l'aménagement urbain, la végétalisation urbaine provoque des effets qui participent au confort thermique, contribue à la diminution des consommations énergétiques, lutte contre les îlots de chaleur et permet également de diminuer les niveaux sonores.*

3.1.1 Agir sur les formes urbaines  
et architecturales

La manière dont la ville est structurée, (formes des bâtis, organisation des voiries et espaces publics, ...) a un impact sur les problématiques environnementales telles que la propagation du bruit, la dispersion des polluants atmosphériques, les îlots de chaleur urbains et l'efficacité énergétique des bâtiments. En amont d'un projet d'aménagement, ces problématiques peuvent être appréhendées souvent de manière préventive, en adaptant au mieux la morphologie urbaine dès les réflexions sur le plan masse des projets.

Orientation et hauteur des bâtiments, continuité (ou discontinuité) du front bâti, agencement des bâtiments par rapport à la source de nuisances, conception interne des logements et détails architecturaux sont autant de leviers qui peuvent être actionnés pour réduire les impacts sur les populations résidentes. Mais optimiser les formes urbaines et architecturales n'est pas chose facile, car de multiples facteurs sont à l'œuvre, parfois contradictoire.

En effet les phénomènes rencontrés relèvent de mécanismes complexes, tridimensionnels notamment. Pour optimiser les différents enjeux et les hiérarchiser, les outils de modélisation et de conception paramétrique, couplés à des moyens de mesure, peuvent constituer une aide à la décision dans les projets d'urbanisme.

La bonne intégration de ces enjeux dans les projets d'aménagement repose notamment sur l'implication des acteurs de la construction tels que les architectes, promoteurs et aménageurs, mais également sur les principes de fond inscrits dans les documents contractuels à l'échelle du projet comme les CPAUP ou réglementaires à l'échelle de la commune : le Règlement et les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) du Plan Local d'Urbanisme. Les éléments de ce chapitre peuvent éventuellement être reprises dans les OAP.



• **Éloignement des bâtiments :**  
**plus efficace sur la pollution de l'air que pour se protéger du bruit**

Le principe de l'éloignement des bâtiments par rapport à un axe routier est plus efficace pour minimiser l'exposition aux polluants atmosphériques que pour se protéger du bruit, qui décroît moins vite que les polluants. Mais les conditions météorologiques, notamment le vent, restent le principal facteur de dispersion des polluants.

**ENJEU**
**ÉLOIGNEMENT DES BÂTIMENTS : PARAMÈTRES INFLUENTS**


- +** Dans le cas d'une source linéaire (axe routier), **la diminution est de 3 dB(A) par doublement de distance.**
- En milieu urbain ou périurbain, il est rare d'avoir l'emprise suivante pour que l'éloignement des bâtiments constitue un véritable levier de réduction du bruit : sur une route limitée à 90 km/h et de TMJA 5000 véh./jour, il faut 200 m pour abaisser le niveau sonore à 45 dB(A)<sup>44</sup>.



- ++** Les concentrations de polluants s'affaiblissent avec l'éloignement de la source. À proximité des axes routiers, les niveaux de pollution décroissent rapidement dans les 50 premiers mètres et plus progressivement dans les 10 mètres suivants. La distance d'impact varie en fonction des polluants<sup>45</sup>.  
 Diminution de la pollution atmosphérique lorsqu'on s'éloigne de la source :

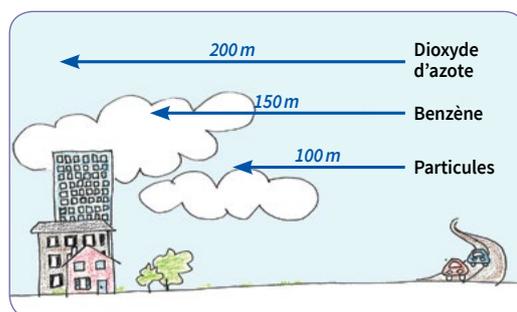


Schéma d'après AirParif

- Pour le NO<sub>2</sub>, la distance d'influence est de l'ordre de 100 à 150 m pour une autoroute en zone urbaine.
- Pour le benzène la distance d'impact est de 100 à 150 m pour un axe majeur et de 50 m pour un axe plus modeste.
- Pour les particules fines, la distance d'influence est d'une centaine de mètres.



- +** L'espace ménagé entre l'axe circulé et les habitations est propice à l'insertion d'espaces boisés ou aquatiques qui ont un effet bénéfique dans la lutte contre le phénomène des îlots de chaleur urbains (voir page suivante "Insertion de zones tampon").



- +** Le principe de l'éloignement peut être mis à profit pour optimiser l'accès au ciel et au soleil. En hiver, un recul suffisant permet par exemple de bénéficier de l'énergie solaire incidente. Mais alors un compromis est parfois à trouver avec la protection contre les vents dominants (continuité du front bâti par exemple).

<sup>44</sup> Simulation pour vitesse 90 km/h, 5000 véh./jr, 10 % de poids lourds, revêtement BBDro/10, aucun effet de sol  
<sup>45</sup> AirParif actualités – Surveillance de la qualité de l'air en Ile de France n°39 – Décembre 2012

• **Insertion de zones tampon**

Quand on éloigne des logements ou bâtiments sensibles des sources de bruit et de pollution, la zone intermédiaire, ou “zone tampon”, peut être simplement un espace naturel (coupure verte, parc paysager) ou un espace dédié à des activités moins sensibles aux nuisances environnementales que les zones résidentielles.

**ENJEU**

**INSERTION DE ZONES TAMPON : PARAMÈTRES INFLUENTS**

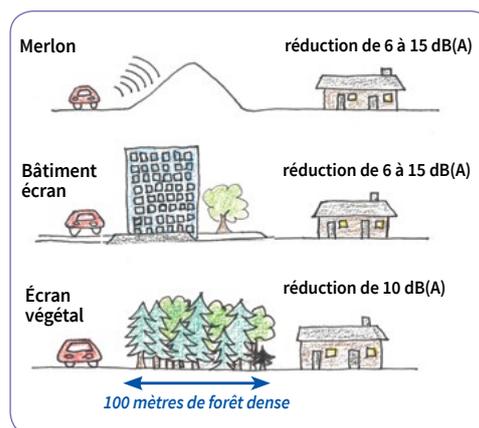
**+** Si l'emprise est suffisante, une zone tampon peut offrir l'opportunité d'insérer des **merlons végétalisés** le long d'un axe bruyant, venant jouer le rôle d'écran acoustique.

Exemples : - Parc paysager des Alisiers à Antony (92)  
- Ecoquartier du Basroch à Dunkerque (59)

**+** Si la zone tampon est dédiée à des activités tertiaires ou artisanales (mais peu bruyantes), les constructions peuvent servir de **bâtiment-écran**.

**+** Une zone tampon boisée doit avoir une distance conséquente :

il faut 100 m de forêt dense pour obtenir une diminution notable (10 à 13 dBA) du niveau sonore, soit environ le même effet qu'un écran acoustique de 4 m de hauteur. Bien optimisée (densité, hauteur), une bande de végétation de 25 m de large peut cependant apporter jusqu'à 7 dB(A) de réduction. Exemple : dans l'écoquartier Fribourg-Rieselfeld (Allemagne), les bandes forestières périphériques ont été conservées et servent de protection contre le bruit.



**+** Les zones tampon dédiées au retour de la nature en ville (eau, végétal) offrent un fort potentiel d'acceptabilité.

**-** Si la zone tampon est constituée d'un étang ou d'un bassin de rétention d'eau, attention au possible effet d'amplification de la propagation du bruit.

**+** Le long des **axes routiers très circulés**, l'utilisation de **bâtiments "écran"** (parking, bâtiments tertiaires) permet de dévier les masses d'air en provenance de la route et de disperser les polluants vers le haut<sup>46</sup>. L'efficacité de cette mesure dépend bien sûr de la hauteur des constructions, de leur position par rapport aux vents dominants et des conditions météorologiques.



**!** Selon la direction du vent, l'effet d'écran du bâtiment peut être bénéfique (moindres concentrations dans les zones habitées) ou néfaste (concentration des polluants du côté à préserver).

<sup>46</sup> Fiche n°2 ville durable et urbanisme : ATMO Nord Pas-de-Calais – Aménagement d'un quartier favorable à la Qualité de l'air





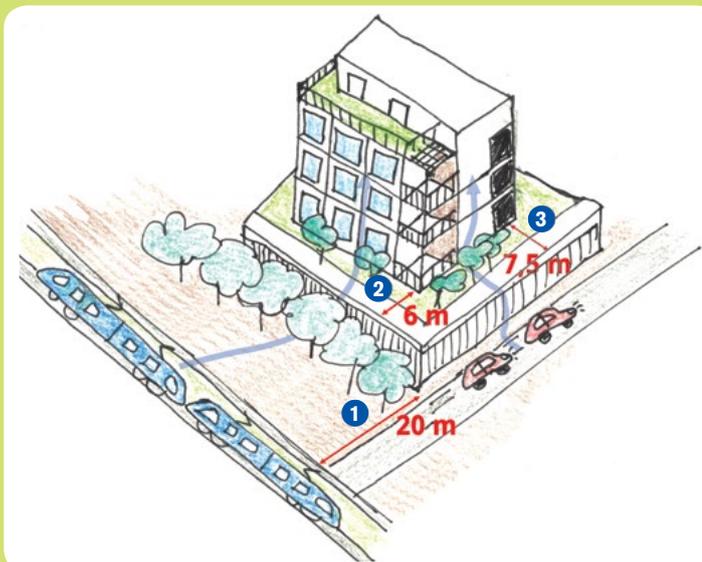
De plus en plus d'études indiquent que le principal levier de lutte contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain réside dans le redéploiement de l'eau et du végétal au cœur des aménagements urbains<sup>47</sup>.



Un rideau d'arbres peut être mis à profit pour atténuer les vents dominants. Les arbres à feuilles caduques, plantés devant les façades sud et ouest, permettent de conjuguer apports solaires en hiver et effet d'ombre en été.

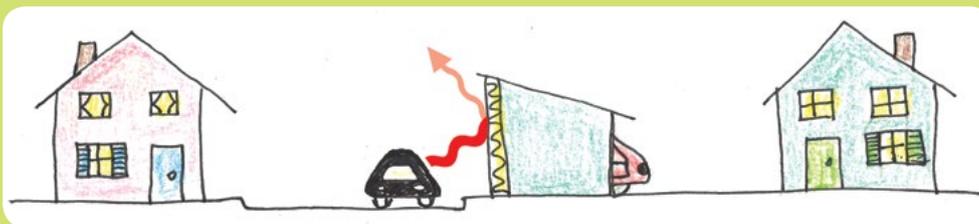


## CAS CONCRET



Exemple de forme urbaine en adéquation avec la présence d'une voie de tram et d'un axe routier bruyant.

- 1 Distance de 20 m environ entre la voie de tram et les habitations, pour atténuer le bruit et offrir une emprise paysagère
- 2 Le socle commercial en débordement protège du bruit les logements en retrait situés au-dessus.
- 3 Retrait supplémentaire côté route pour ménager une emprise suffisante pour un traitement paysager du toit du rez-de-chaussée (effet de filtre des polluants atmosphériques).



Implanter des garages en ouvrage en limite d'axe routier peut offrir un effet d'épannelage du premier rideau. Moyennant l'intégration, sur la façade des garages située côté route, de matériau absorbant de type béton de bois ou, mieux, d'un substrat de végétalisation, une atténuation des réflexions acoustiques vers les habitations situées de l'autre côté de la route, ainsi que la capture d'une certaine part des particules fines provenant de la route, peut être obtenue. Par rapport à la solution consistant à implanter les garages en mitoyenneté des habitations, cette configuration de garages en ouvrage servant d'écran offre deux autres avantages indirects : la suppression de la pollution de l'air intérieur (un garage qui communique avec un logement est une source notoire de pollution de l'air intérieur) et l'éloignement des habitations des zones de stationnement, elles-mêmes sources de pollution et de bruit.

<sup>47</sup> Les îlots de chaleur urbain (ICU) – Étude – Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole – Juin 2017

• **Les écrans acoustiques : des outils performants**

Les écrans acoustiques constituent un moyen intéressant de réduire le bruit d'une voie routière ou ferroviaire. Ils permettent d'atténuer la propagation du bruit entre la source de bruit (par exemple : la route) et les récepteurs que constituent les bâtiments d'habitation. À partir de 3 ou 4 mètres de haut, des gains acoustiques variant entre 8 et 15 dB(A) suivant les configurations (implantation, dimensions, nature des matériaux) peuvent être atteints.

L'installation d'écrans acoustiques permet également d'atténuer les nuisances sonores dans l'ensemble de l'espace public situé derrière l'écran (parcs, jardins, rues piétonnes, etc.).

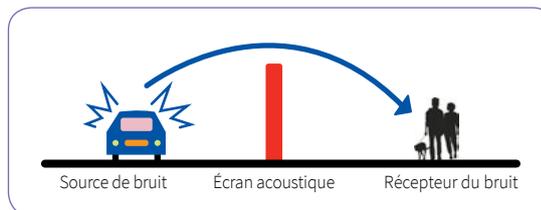
Les écrans acoustiques sont largement utilisés le long des grandes infrastructures de transports terrestres (autoroutes, LGV) mais ils s'avèrent plus difficiles à implanter en milieu urbain dense.

Depuis quelques années, les écrans bas (1 à 1,5 m de hauteur) se sont développés et permettent une implantation plus facile en milieu urbain dense, avec des performances certes moins élevées que les écrans standard, mais avec cependant des gains relativement intéressants.

ENJEU

LES ÉCRANS ACCOUSTIQUES

**+** L'écran acoustique offre l'avantage de réduire le bruit à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. L'ouverture des fenêtres des habitations et l'aération des logements est facilitée.



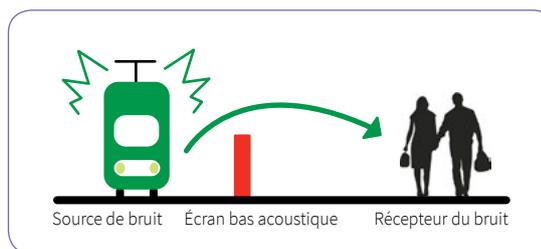
**-** Certaines configurations topographiques se prêtent mal à l'implantation d'écrans acoustiques : limitation de leur efficacité à une topographie relativement plate.

**-** L'efficacité acoustique de l'écran se limite généralement au RDC, 1<sup>er</sup> étage et 2<sup>e</sup> étage, rarement au-delà.



**-** Ce type d'ouvrage s'insère mal dans le tissu urbain dense, notamment dans les rues commerçantes.

**+** Les écrans bas (1 m à 1,5 m de haut) sont beaucoup plus facile à insérer en milieu urbain dense. Ils doivent être positionnés au plus près des sources sonores pour que leur efficacité acoustique soit optimum. À proximité immédiate des voies de tramway, le potentiel acoustique de ce type d'écrans peut être utilisé avantageusement pour réduire le bruit de passage des rames.



**+/-** Selon les conditions météorologiques locales et la position de l'écran par rapport aux vents dominants, l'écran acoustique peut avoir un **effet positif** (diminution observée de 10 à 50 % des concentrations en particules et NO<sub>x</sub> à l'arrière du mur) **ou négatif** (augmentation des concentrations) sur **la qualité de l'air** (accumulation des polluants sous le vent de l'écran). Ainsi, l'impact d'un écran acoustique doit être évalué au cas par cas avec des outils de modélisation ad hoc. Il n'est pas systématiquement synonyme de protection des populations situées à l'arrière.





– L'écran peut créer de l'ombre pour les bâtiments riverains de l'écran (à noter que des écrans transparents existent).



+ Bonne synergie apportée par les écrans recouverts de verdure : intégration aisée dans le paysage naturel, durée de vie élevée si matériau de base de bonne qualité, contribution à la continuité des trames écologiques.

## FOCUS

### RÉSUMÉ DU GUIDE DU CEREMA "DU CALME EN VILLE, AMÉNAGER EN FAVEUR DU BIEN-ÊTRE"<sup>48</sup>



Dans le cadre de la Directive européenne sur le bruit dans l'environnement, la détermination de zones calmes fait partie des dispositions visant à apporter du confort à la population. La démarche de définition et de choix de ces lieux de repos et de détente peut servir à alimenter d'autres réflexions qualitatives et donner de nouvelles pistes d'exploitation de la trame écologique urbaine.

Les zones calmes contribuent à améliorer le cadre de vie et favorisent des comportements de vie saine, notamment par les pratiques de sport, de loisir et de détente. Par exemple, Rennes Métropole a inclus un dossier zones calmes dans le volet environnement de son PLUi<sup>49</sup>.

Le Cerema a publié en 2017 un ouvrage basé sur des retours d'expérience de collectivités pionnières dans la prise en compte de l'enjeu que représentent l'identification, la préservation et, au-delà, la promotion du calme en milieu urbain (Bordeaux, Lille, Lyon Métropole, Rennes, Bilbao, Rotterdam...). Ce guide présente divers enseignements au bénéfice, plus spécifiquement, des décideurs et des aménageurs, mais il concerne l'ensemble des parties prenantes souhaitant promouvoir les enjeux de qualité de vie et de bien-être au sein de l'aménagement urbain.

#### **Définition (selon l'article L572-6 du code de l'environnement)**

"Les zones calmes sont des espaces extérieurs remarquables par leur faible exposition au bruit, dans lesquels l'autorité qui établit le plan souhaite maîtriser l'évolution de cette exposition compte tenu des activités humaines pratiquées ou prévues."

#### **Autres définitions**

La zone calme est un lieu de ressourcement où l'humain, la nature et la biodiversité

se côtoient en harmonie. Une zone calme contraste avec son environnement extérieur et son ambiance sonore, associée aux autres sens, est propice au repos physique et de l'esprit.

#### **Niveau sonore < 55 dB(A)**

Sur le plan acoustique, une zone calme se caractérise par un niveau sonore  $L_{den} < 55 \text{ dB(A)}$  (niveau permettant aux sons naturels et aux voix humaines d'être perçus facilement).



<sup>48</sup> Cerema - Du calme en ville - Aménager en faveur du bien-être - Février 2017

<sup>49</sup> Dossier zones calmes dans le volet environnement du PLUi de Rennes Métropole - 2017



**Zone d'apaisement : 55 dB(A) < Lden < 65 dB(A)**

En ville, l'atteinte des seuils de bruit inférieurs à 55 dB(A) Lden peut s'avérer difficile. Une notion d'espace intermédiaire entre le calme et le bruit, la zone d'apaisement, trouve sa justification.

C'est un lieu où l'activité humaine est présente mais éloignée des infrastructures de transport. Le niveau sonore est modéré et compris entre 55 dB(A) et 65 dB(A) Lden.

Une zone d'apaisement dont les niveaux sont situés entre 55 et 60 dB(A) Lden est potentiellement une zone calme, l'aménageur pourra profitablement y engager des actions au bénéfice d'une qualité de vie améliorée.

Une zone d'apaisement dont les niveaux sont compris entre 60 et 65 dB(A) Lden est potentiellement une zone de bruit critique. Elle nécessite une vigilance particulière afin d'éviter toute dégradation de l'ambiance sonore.

**Une notion multicritères**

Une zone calme ne peut en aucun cas être caractérisée uniquement par son niveau sonore. Elle doit aussi prendre en compte les ressentis des personnes, les usages et les pratiques, l'accessibilité et la lisibilité, la morphologie urbaine et la fonctionnalité. Par exemple, à Rennes Métropole, les zones calmes se caractérisent par un niveau sonore inférieur à 55 dB(A) associé à un indice de qualité urbaine (IQU) supérieur à 5. L'IQU prend en compte la perception visuelle, la perception auditive, les usages ainsi que l'accès facile de ces zones bien repérées.

**Retour d'expérience : le cas de Dunkerque**

À Dunkerque, les zones calmes sont classées par une échelle dite de quiétude. La méthode employée pour l'inventaire des

zones calmes est un croisement des cartes de bruit avec les zones naturelles du Plan Local d'Urbanisme et les zones vertes du Plan Vert de la CUD. Un traitement manuel a ensuite été réalisé afin d'éliminer les éventuelles zones où des doutes subsistaient. La définition de l'échelle de quiétude n'est pas spécifiquement centrée sur un niveau de bruit mais plutôt sur une qualité sonore. Dans son PPBE, la Communauté urbaine de Dunkerque conçoit les zones calmes comme "des secteurs, urbains ou non, où une certaine quiétude est constatée. Il ne s'agit pas de mettre sous cloche ces territoires mais de réfléchir à un aménagement qualitatif".

**Comment organiser, repérer, hiérarchiser pour définir et faire vivre une zone calme ?**

**Importance d'associer l'usager**

L'usager a un rôle majeur à jouer dans la production d'orientations concernant les zones calmes. Différents outils peuvent être mis à profit : forum de discussion en ligne ; utilisation des réseaux sociaux ; mise à disposition des Cartes de Bruit Stratégique et des Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement ; consultation en mairie, en préfecture ; analyse des courriers et des plaintes ; charte de bonne conduite avec les usagers ; conférences locales de sensibilisation.

**Mesures acoustiques in situ**

A l'échelle de la zone, une bonne caractérisation nécessite de préciser les données issues des cartes de bruit par des mesures acoustiques in situ.

**Organiser avec toutes les forces vives :**

- une volonté politique ;
- des moyens techniques (CSB, plans d'action, référentiels techniques, enquêtes terrain, chartes, guides, technologies de l'information, maquettes...)
- des acteurs (équipe d'organisation des services, urbanistes, acousticiens, sociologues, écologues, associations, comités de quartier, élus, directeurs des services techniques...);
- des leviers : analyse des plaintes, écoute des réseaux sociaux, documents de planification, compétences des communautés scientifiques, techniques et industrielles, évaluation...



Démarche	Action	Références
Zones calmes naturelles	Classer en zone à préserver	SCOT PPBE PLUi
	Interdire les habitations dans ces espaces de respiration	PLUi
	Limiter les passages de poids lourds	Gestionnaire d'infrastructure
Zones calmes urbaines	Classer en zone à préserver	SCOT PLUi Réglementation acoustique Étude acoustique spécifique
	Privilégier la création de certains équipements publics (parc, sport...)	PLUi
	Végétaliser les abords dans le but de remplacer le type de bruit	Étude acoustique spécifique Porteur de projet





### Hiérarchiser les critères

À partir des critères listés ci-dessous, le collège des acteurs peut noter de 3 à 1 chacun des critères par ordre de priorité décroissant :

Critère	Moyens de renseigner ce critère	Niveau de priorité (de 3 à 1)
Seuil de bruit validé	Mesures acoustiques in situ	
Sources de bruit (route, fer, activités...)	Cartographie du bruit	
Qualité d'usage, paysagère et patrimoniale	Grande fréquentation, présence de verdure, lieu d'histoire	
Accessibilité	Distance à parcourir à pied pour accéder à la zone, desserte de TC, horaires d'ouverture	
Coûts dédiés	Aménagement, entretien	
Typologie du bâti	Habitation, école, centre commercial...	
Ressenti des usagers	Enquêtes auprès des riverains de la zone	
Taille (placette, square, parc...) et qualité du site (sécurisé, propre...)		
Autres critères territoriaux		

### Arbitrer avec pondération

À l'issue du repérage et de la hiérarchisation, un arbitrage de la maîtrise d'ouvrage peut être nécessaire pour classer et/ou retenir certains sites. Une pondération des critères de 0, +1, +2 peut être introduite. L'indice européen QSI (pour Quietness Suitability Index) consiste à pondérer

les critères de niveau sonore (éloignement des sources de bruit), l'occupation du sol (par exemple de sol bitumé à forêt) et de densité de population. Chacun de ces trois critères est noté de 0 à 1. L'indice résultat sera noté 1 pour une très forte valeur de tranquillité, 0 pour une situation de zone bruyante urbaine.

### • Hauteur des bâtiments et largeur des rues

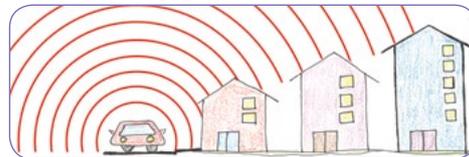
Même si la nature du trafic et les conditions météorologiques sont les principaux déterminants de la pollution et du bruit en milieu urbain, avec la morphologie urbaine (largeur de rue, hauteur de bâti, continuité ou discontinuité des façades), les aménageurs ont à leur disposition une palette complète de stratégies pour conjuguer principes bioclimatiques, lutte contre les ICU, dispersion des polluants et protection contre le bruit.

## ENJEU

### HAUTEUR DES BÂTIMENTS ET LARGEUR DES RUES : PARAMÈTRES INFLUENTS



**+** L'épannelage consiste à augmenter la hauteur des bâtiments en fonction de la distance à la voie. Le premier bâtiment protège le second, qui protège le troisième, etc.

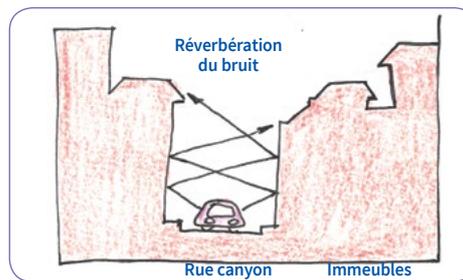


**+** Le principe du "bâtiment écran" constitue également un moyen efficace de protéger des bâtiments moins hauts et plus sensibles situés à l'arrière.

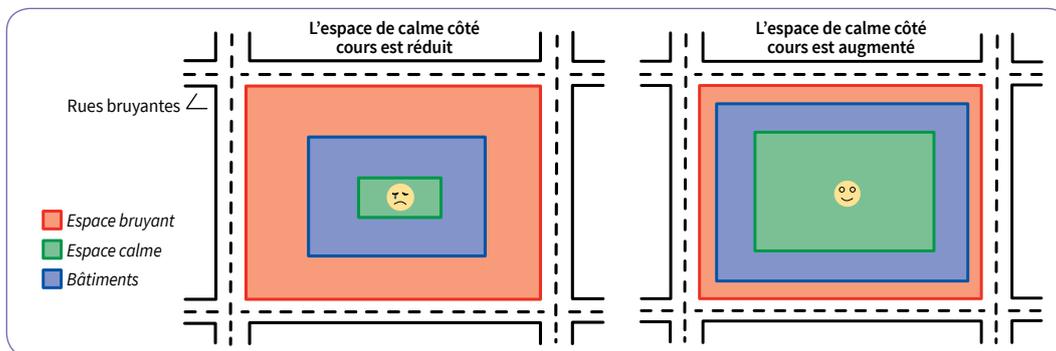




- La configuration de **rue canyon** (rue étroite et bordée d'une continuité de bâtiments hauts), est propice à amplifier le bruit par réverbération sur les façades. Ce phénomène peut toutefois être atténué par l'utilisation de façades absorbantes, notamment végétalisées.

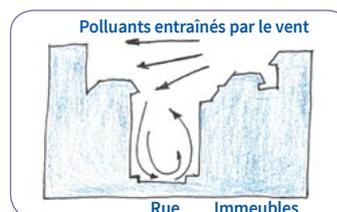


Cependant en rapprochant les bâtiments de la route, on dégage une plus grande surface à l'arrière des bâtiments (coté cours).



- + Le principe du **bâtiment-écran** peut contribuer à contrarier la dispersion des polluants atmosphériques. Suivant les conditions météorologiques (stabilité de l'atmosphère notamment), la hauteur du bâtiment et sa position par rapport aux vents dominants, l'effet sur la qualité de l'air peut être positif ou négatif (augmentation des concentrations de polluants)<sup>50</sup>.

- + L'**élargissement des voies** et la **diminution de la hauteur du bâti** peuvent être bénéfiques pour la qualité de l'air extérieur.

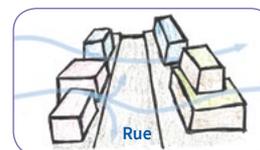


- La configuration de type **rue canyon** gêne la circulation des vents, induisant une stagnation des masses d'air et des pollutions<sup>51</sup>.



Le risque d'effet canyon peut être évalué au moyen du "Sky View factor" (SVF<sup>52</sup>), indicateur variant entre 0 et 1 et exprimant le degré d'ouverture de l'espace bâti aux vents. Plus les rues sont larges, plus le SVF est élevé.

- + Les disparités de géométrie au niveau des façades favorisent la dispersion des polluants de l'air et réduisent l'effet canyon. Mais les inégalités de hauteurs de bâtiments peuvent quant à elles gêner la dispersion des polluants en réduisant la vitesse du vent<sup>53</sup>.



- ! À trop vouloir combler les espaces restés vides entre deux bâtiments, on risque de favoriser l'effet canyon (les gaz polluants se dispersent moins bien, faute de creux et d'espaces libres). Quand on densifie le front bâti d'une rue, il faut alors y réduire la circulation automobile.

<sup>50</sup> Voir à ce sujet le rapport de l'ADEME sur l'impact des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique – 2011

<sup>51</sup> Fiche n°2 ville durable et urbanisme : ATMO Nord Pas-de-Calais – Aménagement d'un quartier favorable à la Qualité de l'air

<sup>52</sup> Les îlots de chaleur urbain (ICU) – Étude – Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole – Juin 2017

<sup>53</sup> Aide à la prise en compte de la qualité de l'air dans la planification d'urbanisme et des transports : zoom en Nord et Pas-de-Calais sur PLU(i) et PDU Avril 2016





- + L'élargissement des voies peut participer à une meilleure dissipation de la chaleur, notamment pendant la nuit. L'indicateur SVF (voir précédemment), qui traduit l'accessibilité visuelle de la voûte stellaire à partir du sol, permet d'évaluer la facilité avec laquelle se produit le refroidissement nocturne par échange radiatif avec le ciel.
- La configuration de type rue canyon gêne la circulation des vents et favorise les risques de surchauffe urbaine par stagnation de l'air.
- + La configuration de type rue canyon permet de limiter la pénétration de l'ensoleillement directe.



- + Pour lutter contre les vents violents humides et froids, au sein d'un îlot fermé, on peut rechercher de l'**hétérogénéité géométrique** : des variations de hauteurs en attique peuvent être générées pour freiner les vents. Cette mesure s'intègre également dans une démarche bioclimatique.
- + Plus les rues sont larges, plus il y a de potentiel d'apport solaire passif.
- + Dans certaines configurations, un épandage approprié permet de faire appel à des solutions d'apport solaire passif et de production d'énergie solaire (photovoltaïque, solaire thermique).

## CAS CONCRET

État projeté avec bâtiments



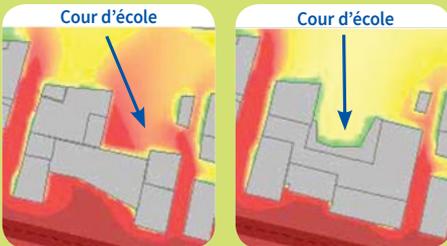
© Lasa



© Technal

ZAC de la Cerisaie à Fresnes<sup>54</sup> : le "bâtiment K", composé d'une alternance de bâtiments et de murs rideaux acoustiques protège des nuisances sonores de l'autoroute A6 les logements situés derrière. Il protège aussi des polluants atmosphériques mais, hélas, de manière moins efficace que pour le bruit.

<sup>54</sup> ZAC de la Cerisaie à Fresnes : diaporama du LASA présenté au colloque CidB sur les écoquartiers en 2012 – Présentation sur le site du LASA du bâtiment livré en 2016



Écoquartier Danube à Strasbourg<sup>55</sup> : une modélisation a montré qu'en modifiant la forme et la hauteur de l'îlot (illustration de droite), les concentrations modélisées dans la cour de récréation sont plus faibles que pour le scénario initial (illustration de gauche). Elles baissent de 36 % pour les concentrations en NO<sub>2</sub> (- 15 µg/m<sup>3</sup>) et de 11 % pour les PM<sub>10</sub> (- 3 µg/m<sup>3</sup>).

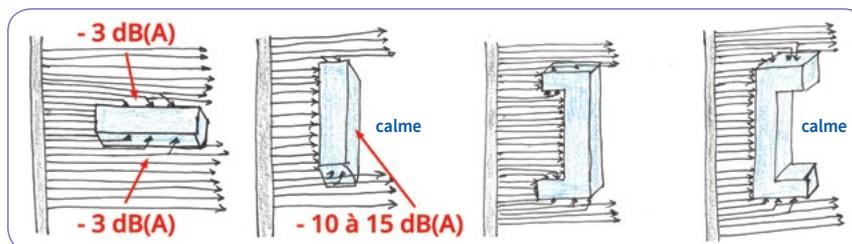
• **Orientation des bâtiments : un paramètre prépondérant**

L'approche bioclimatique consiste à favoriser les apports solaires en saison froide tout en se protégeant des surchauffes en saison chaude. Conjuguer cette approche avec la protection contre les nuisances urbaines participe d'une démarche multicritères où l'orientation des bâtiments est un paramètre prépondérant.

**ENJEU**

**ORIENTATION DES BÂTIMENTS : PARAMÈTRES INFLUENTS**

+ L'objectif est d'**orienter le bâtiment** pour limiter le nombre de façades exposées au bruit et à la pollution. La forme en U ou en L du bâti améliore aussi la protection des espaces extérieurs opposés à la voie.



! L'orientation doit s'accompagner d'une réflexion sur la **distribution interne des pièces des logements** (voir ci-dessous "Conception interne des logements").



+ À l'échelle de l'îlot, la discontinuité d'une façade permet d'éviter l'accumulation et la stagnation des polluants à l'intérieur d'une cour intérieure.

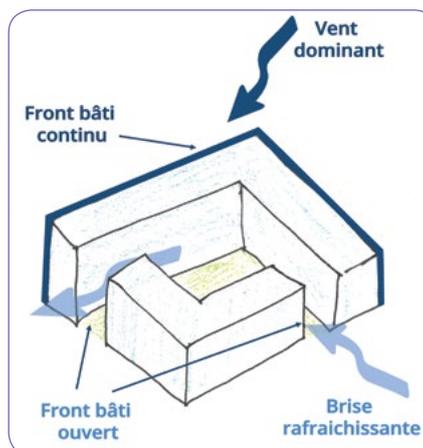


+ La bonne orientation des discontinuités peut apporter un effet de protection contre les surchauffes en saison chaude (brise rafraîchissante).



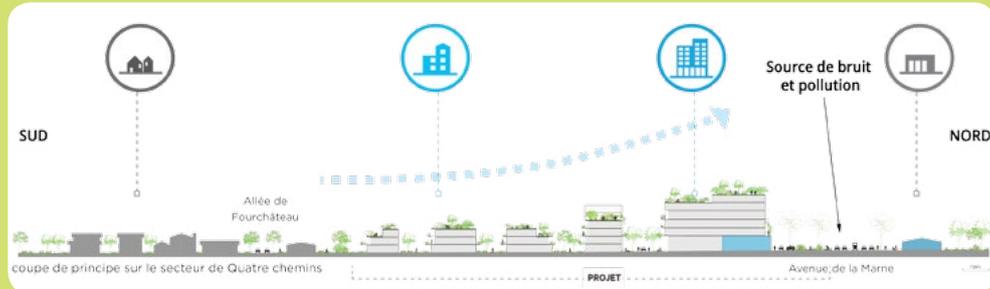
+ L'orientation d'un bâtiment peut être choisie pour constituer un front bâti continu afin de limiter le refroidissement par les vents dominants.

+ Une bonne orientation des bâtiments peut aussi permettre de bénéficier d'apport solaire passif, ou de produire de l'énergie solaire par pose de panneaux en toiture ou en façade.



<sup>55</sup> Modélisation de la qualité de l'air sur le futur écoquartier Danube – ASPA Alsace



**CAS CONCRET**


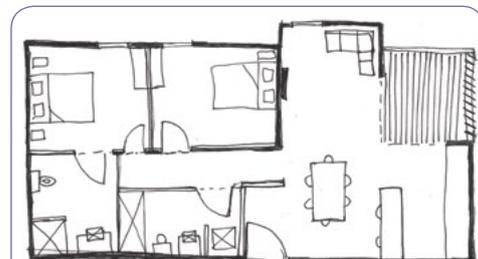
© Debarre Duplantiers Associés, SATHY, Franck Boutté Consultants, Verdi ingénierie, Transmobilités

Le projet d'aménagement du quartier Mérignac Marne (Bordeaux Métropole) a retenu un principe d'épannelage sud-nord favorisant une élévation croissante depuis le quartier résidentiel situé au sud et faisant bénéficier les logements d'un éclairage maximal. Le premier rang de bâtiments jouxtant l'avenue de La Marne (1300 véh./jour), avec ses élévations R+6 à R+8, sert de bâtiment-écran.

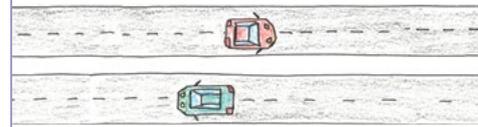
- Conception interne des logements : de nombreux gains possibles

**ENJEU**
**CONCEPTION INTERNE DES LOGEMENTS : PARAMÈTRES INFLUENTS**


Il est fréquent d'**orienter les espaces de distribution** (palier d'étage, escalier, ascenseur, colonne sèche) et **les pièces humides** (cuisine, salle de bain, WC) du côté de l'infrastructure bruyante et les pièces de vie (séjour, salle à manger, chambre) du côté calme<sup>56</sup>.



En présence d'une VMC, la **qualité de l'air à l'intérieur des logements** peut être améliorée en orientant les pièces humides (dépourvues d'entrées d'air) du côté de la route et les pièces principales (équipées d'entrées d'air) du côté opposé. Cette configuration sans entrées d'air côté infrastructure est aussi bénéfique pour le bruit.



Avec une VMC double flux, on éloignera le plus possible l'amenée d'air frais de la route. Si nécessaire, on équipera le système d'un filtre (classe de filtration F7 minimum).



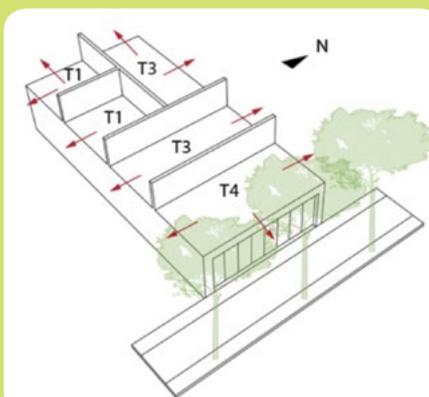
Les logements traversants sont propices à la surventilation sous l'effet du vent (rafraîchissement nocturne en saison chaude).

<sup>56</sup> Bruit et Formes urbaines – propagation du bruit routier dans les tissus urbains – 143 pages – CETUR – Juillet 1981



- + Des protections solaires adaptées à leur orientation peuvent être mises en place :
  - des éléments fixes horizontaux (débords de toiture, balcons, casquettes, lames) sur les façades Sud pour une bonne gestion des apports solaires selon les saisons ;
  - des systèmes rétractables (stores) sur les façades Est et Ouest pour bloquer les rayons solaires intrusifs ;
  - pas de système de protection solaire sur les façades Nord mais un double-vitrage acoustique et thermique performant est nécessaire.

## CAS CONCRET



Projet d'aménagement du quartier Mérignac Marne (Bordeaux Métropole) - Figures imposées par le projet - Typologies de logements : "À partir du T3, les logements devront être traversants ou multiorientés pour s'ouvrir sur le paysage, profiter du ciel et du soleil et bénéficier au maximum d'une ventilation naturelle. Les T1 et T2 mono-orientés Nord ou sur rue seront proscrits."

© Debarre Duplantiers Associés, SATHY, Franck Boutté Consultants, Verdi ingénierie, Transmobilités



### • Conception architecturale : une option payante

#### Retrait des logements par rapport à l'alignement

Les projets à mixité programmatique entre logements et commerces offrent la possibilité de se servir du socle commercial implanté en rez-de-chaussée pour protéger du bruit de la circulation les logements situés aux étages supérieurs. Il suffit pour cela de prévoir un retrait suffisant des logements par rapport au socle commercial. Les usages non résidentiels sont implantés au rez-de-chaussée du côté de la voie bruyante, les logements sont implantés aux étages supérieurs et en retrait par rapport à la voie.

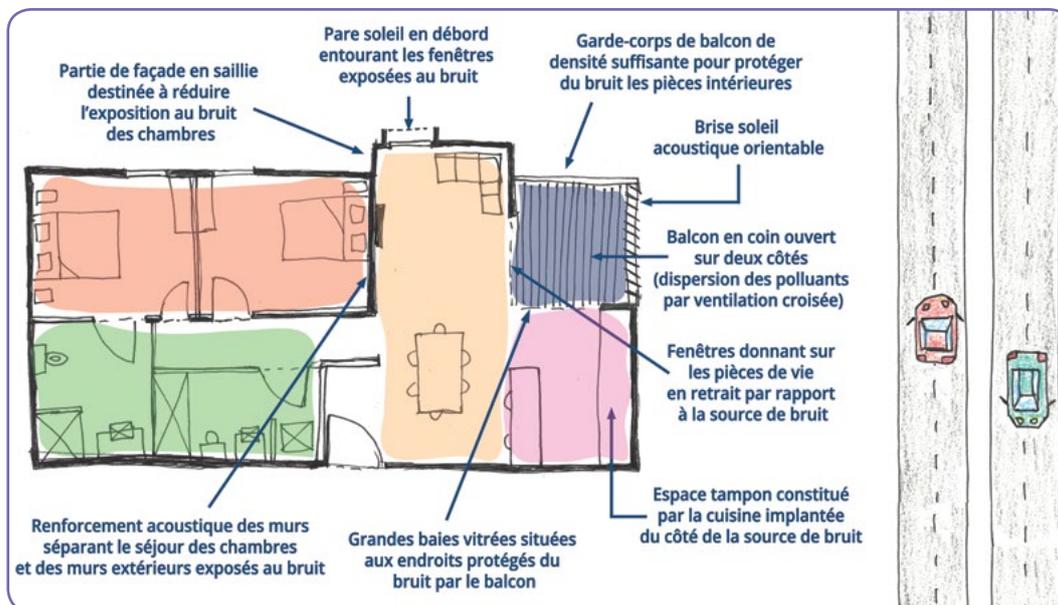
## CAS CONCRET



Projet d'aménagement du quartier Mérignac Marne (Bordeaux Métropole) : le retrait des logements par rapport au socle commercial apporte un double effet de protection contre le bruit et d'éloignement des logements par rapport à la voie bruyante, tout en offrant une emprise horizontale pouvant être arborée (effet de filtre des polluants atmosphériques et occultation visuelle de la source de bruit et de pollution).

Schéma d'après Debarre Duplantiers Associés, SATHY, Franck Boutté Consultants, Verdi ingénierie, Transmobilités



**Exemple de typologie d'implantation en adéquation  
 avec la proximité d'un axe de transport terrestre**

**ENJEU**
**CONCEPTION ARCHITECTURALE : AUTRES EXEMPLES**


- + Balcons dotés d'une paroi végétalisée afin d'atténuer le bruit (pouvoir absorbant du substrat).
- + Partie supérieure des balcons tapissée d'absorbant acoustique afin de réduire la propagation du bruit vers les logements.



- + Balcons dotés d'une paroi végétalisée afin de piéger une part des polluants atmosphériques (effet de filtre du feuillage).
- + Balcons du dernier étage équipés de brise-soleil horizontaux ajourés pour une meilleure dispersion des polluants.



- + Brise-soleil vertical apportant des propriétés acoustiques en position occultée.

CAS CONCRET

**PLU DE BORDEAUX MÉTROPOLE :  
RÈGLE DÉROGATOIRE POUR PRISE EN COMPTE  
DU BRUIT DANS LE PÉRIMÈTRE  
DES VOIES BRUYANTES**



Une règle dérogatoire sur l'implantation du bâti a été introduite pour permettre la prise en compte du bruit aux abords des voies bruyantes.

Le PLU 3.1 adopté en décembre 2016 s'inscrit dans une philosophie moins prescriptive que le précédent, au profit d'un mode opératoire basé sur la négociation. Cette philosophie trouve notamment son origine dans le souhait d'éviter les blocages ou incohérences dus à des effets de seuils ou à des règles d'urbanisme pouvant aller à l'encontre d'autres enjeux urbains. Par exemple, dans le but de lutter contre les nuisances sonores, une disposition dérogatoire aux règles d'implantation des bâtiments aux abords des voies classées bruyantes a été introduite dans le règlement.

Une fois la disposition dérogatoire inscrite dans le document de planification urbaine, se pose la question de l'accompagnement des instructeurs dans son interprétation. Les pétitionnaires, grand public et professionnels de la construction, mériteraient également d'être conseillés afin qu'ils puissent se saisir pleinement de cette disposition lors de la conception de leurs projets. Idéalement, les outils d'aide à l'interprétation des dispositions dérogatoires aux règles générales d'implantation doivent permettre de

prendre en compte de façon croisée les enjeux climat, qualité de l'air et énergie (C, A et E). S'ils doivent proposer prioritairement des solutions pour réduire les nuisances sonores, ils ne peuvent faire l'impasse sur les impacts éventuels de ces propositions sur les enjeux CAE.

Pour finir, une fois les outils produits, se pose la question de leur diffusion et de leur appropriation par les publics concernés : services instructeurs, pétitionnaires. Cela suppose la mise en place de procédures formalisées, connues et partagées par tous. L'une des mesures du futur PPBE de Bordeaux Métropole pourrait consister à créer le (ou les) outil(s) approprié(s) susceptibles de permettre aux publics concernés une prise en compte croisée des enjeux Bruit et CAE ; puis de formaliser des procédures ou mesures qui, dans les zones à enjeu, permettraient de prendre en compte ces enjeux.

- Pour inciter à prescrire, encore faut-il savoir quoi imposer.
- Pour appliquer les prescriptions, encore faut-il disposer d'outils appropriés et de procédures "rôdées" : formalisées, connues et partagées.

**2.3.6 Règles particulières relatives au bruit des infrastructures**

Les projets à destination d'habitation doivent être conçus de manière à réduire le bruit au sein de la construction et des espaces extérieurs de l'opération.

Le long d'une infrastructure repérée comme "périmètres d'isolement acoustique des secteurs situés au voisinage des infrastructures de transports terrestres" dans le plan des périmètres divers figurant en annexes informatives du PLU, une implantation différente de celle fixée au "2.2 Dispositions réglementaires - cas général" peut ainsi être admise concernant tout nouveau projet de construction.

Toutefois, le projet doit être conçu de manière à s'intégrer dans les perspectives urbaines et paysagères, dans le respect des dispositions du présent règlement.





## FOCUS

### PLU DE LILLE : EXEMPLE DE PRISE EN COMPTE DU BRUIT DANS UN RÈGLEMENT DE PLU

Pour les projets d'urbanisme situés dans un secteur où le bruit est supérieur ou égal à 65 dB(A), les pétitionnaires devront démontrer à travers la notice descriptive du projet, la compatibilité de leur projet à l'environnement bruit, en indiquant notamment les mesures particulières de protection phonique qu'ils envisagent.

#### Pour la prise en compte du bruit :

De nombreuses études nationales et internationales ont mis en évidence les effets du bruit sur la santé humaine.

Face à cette situation, pour les projets d'urbanisme situés dans un secteur où le bruit est supérieur ou égal à 65 dB(A) (voir carte multi-exposition), les pétitionnaires devront démontrer à travers la notice descriptive du projet, la compatibilité de leur projet à l'environnement bruit, en indiquant notamment les mesures particulières de protection phonique qu'ils envisagent.

Ces mesures particulières pourront par exemple être les suivantes :

- Un accompagnement du projet par un acousticien expérimenté : le travail d'aménagement peut ainsi être accompagné par un acousticien tant sur la conception du projet et que dans sa mise en œuvre notamment lors de la phase travaux. Le phasage de ce travail peut ainsi se décomposer de la façon suivante :

- compléter l'état initial sur le bruit en réalisant des mesures complémentaires,
- réaliser une modélisation 3D de l'état initial,

- accompagnement de l'acousticien dans la réalisation de l'aménagement,

- réaliser une modélisation 3D du projet et apporter des corrections au projet en fonction des résultats,

- écriture des DCE sur le volet bruit par l'acousticien,

- suivi des travaux par l'acousticien sur le volet bruit,

- réception des travaux par l'acousticien sur le volet bruit.

- Décliner des solutions techniques : comme l'illustre les exemples ci-dessus, le projet peut directement intégrer la contrainte liée au bruit. Plusieurs possibilités peuvent ainsi voir le jour comme :

- mise en place d'un écran acoustique,

- construire un bâtiment écran,

- d'autres mesures de prévention de la nuisance bruit pourront être également déclinées comme :

- conception des logements autour de la forme urbaine ;

- orientation et disposition spatiale des logements ;

- aménagement des espaces ;

- choix des usages et leur répartition spatiale ;

- choix des matériaux d'isolation phonique (plancher, cloison séparative, fenêtre à isolation acoustique renforcée...);

- choix dans l'aménagement des espaces publics : La présence d'arbre est un atout pour créer une autre ambiance acoustique. L'implantation d'une fontaine serait de nature à diversifier les sources de bruit sous réserve que le niveau de bruit résiduel soit abaissé de façon importante.

À noter que cette réglementation vient s'ajouter ou compléter les mesures définies à l'article R 111-4-1 du Code de la Construction et de l'Habitation.

#### Commentaire

En complément de ce règlement du PLU, le code de l'urbanisme (article R111-2) prévoit la possibilité de refuser un projet ou de ne l'accepter "que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations". Cet article R111-2 du code de l'urbanisme est suffisamment flou pour être utilement invoqué en cas de projet résolument dépourvu de pertinence environnementale (par exemple, implantation d'une crèche en bordure d'une autoroute).

### 3.1.2 La végétalisation en milieu urbain pour répondre à différents enjeux



La végétalisation de la ville par l'implantation de sols engazonnés, d'arbustes ou d'arbres est aujourd'hui une stratégie utilisée pour répondre à différents enjeux : énergétiques et climatiques en atténuant les températures, ou encore pollution atmosphérique via la capacité des végétaux et leurs substrats à piéger les polluants présents dans l'air, voir à réduire les risques d'inondations. La toiture végétalisée extensive constitue une

stratégie bioclimatique idéale en associant sur le même toit protection solaire, inertie thermique et isolation acoustique. Les stratégies de végétalisation s'intègrent également dans une démarche globale où l'on cherche à renforcer l'attractivité des zones urbaines. Des études ont en effet montré les effets bénéfiques de la végétation sur la santé, sur le bien être psychologique, la sécurité en ville, le report vers la mobilité douce et sur la vie sociale des citoyens. Il faut néanmoins être vigilant sur le choix des espèces si l'on souhaite optimiser ces bénéfices<sup>57</sup>.



Photo n°1 : Toiture végétale de l'université de Nantes - Photo n°2 : Saint-Étienne - Photo n°3 : Superposition de strate et gestion différenciée, Munich - Photo n°4 : Paris - Photo n°5 : Plantation sur dalle, High Line 20th Street, New-York - Photo n°6 : Grünes Haus, Gießen, Allemagne.

Les effets des végétaux en milieu urbain sont divers, une liste de certains phénomènes physiques observés, en lien avec les thématiques énergie, climat et bruit, est ici proposée. Plusieurs ressources existent sur le sujet, notamment le guide "Aménager avec la nature en ville"<sup>58</sup> et le guide "Arboclimat" de la DR ADEME Hauts-de-France<sup>59</sup>.

#### — Végétaux au niveau des bâtiments<sup>60</sup>

- **Interception, absorption** (environ 70 % en raison d'un albédo inférieur à 0.2) **et réflexion** (environ 30 % du rayonnement est réfléchi) **d'une partie du rayonnement solaire** par le feuillage ;
- **Limitation des pertes de chaleur par rayonnement infrarouge** en été comme en hiver (l'échange entre le bâtiment et son entourage ne se fait plus directement, c'est désormais le feuillage qui échange avec celui-ci) ;
- **Diminution des échanges de chaleur par convection** entre les parois protégées et l'air ambiant grâce à une limitation de la vitesse du vent (réduction des échanges convectifs) et une différence de température moindre entre la paroi et l'air ambiant permise par un faible espace compris entre la végétation et la paroi où la température est intermédiaire ;

<sup>57</sup> Fiche ville durable et urbanisme n°3 – Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable – Atmo Nord Pas-de-Calais, APPA – Juin 2015

<sup>58</sup> Aménager avec la nature en ville – ADEME – Collection Expertises – Octobre 2018

<sup>59</sup> "Arbo Climat un outil pour évaluer l'impact sur la séquestration du carbone et sur le climat urbain"

<sup>60</sup> Rôle du végétal dans le développement urbain durable – Pommier G., Provendier D., Gutleben C., Musy M. – Impacts du végétal en ville – Fiches de synthèse. Programme de recherche VegDUD – Plante & Cité – 2014



- **Ralentissement/limitation du réchauffement des parois au moyen de l'évapotranspiration** (dans le cas des toitures végétalisées, selon l'épaisseur du substrat et les végétaux installés, la température de surface peut être abaissée jusqu'à 5°C si le substrat est humide (la quantité d'eau disponible détermine donc fortement l'effet bénéfique des toitures végétalisées en période estivale) ;
- **Diminution de la quantité échangée par conduction à travers les parois grâce à des variations de températures moindres entre les surfaces extérieures et intérieures.**

#### — Végétaux au niveau des espaces publics (rue)<sup>60</sup>

- **Augmentation de l'humidité de la rue** grâce au phénomène d'évapotranspiration (qui utilise une grande partie de l'énergie reçue par rayonnement) permis par les végétaux présents en façades. Néanmoins, si l'humidité augmente de manière trop importante cela peut avoir l'effet inverse et participer à favoriser des situations d'inconfort dans la rue.
- **Limitation du rayonnement réfléchi** vers les autres façades, le sol et les passants grâce au faible d'albédo de la végétation des façades (absorption de 70 % du rayonnement solaire grâce à un albédo inférieur à 0.2).
- **Diminution du rayonnement radiatif moyen et du transfert de chaleur à l'air par convection conduisant à une réduction des températures de l'ensemble des surfaces environnantes** grâce à un échange d'énergie limité en raison d'une surface végétale de température peu élevée en période estivale (dont usagers de l'espace public).
- **Absorption du son par le substrat des végétaux présents en façades des bâtiments et diffusion du son par leurs tiges et feuilles conduisant à une réduction du bruit dans l'espace public.** L'absorption est d'autant plus importante que le substrat est poreux. L'absorption du son est meilleure dans les hautes fréquences (aigus) . Lorsqu'il s'agit d'une rue canyon l'atténuation du niveau sonore dans la rue par la végétalisation des façades est d'autant plus importante que le son subit de multiples réflexions sur les façades des bâtiments se faisant face. Il a été constaté un gain de 5 dB entre deux scénarios comparant des façades minérales à des façades végétalisées. En dehors de la rue canyon, coté cour notamment, l'atténuation des niveaux sonores est plus efficace si les étages supérieurs des bâtiments sont végétalisés ainsi que les toitures horizontales (la végétalisation des étages inférieurs étant d'une efficacité moindre).

L'ensemble de ces effets participe ainsi au confort thermique au sein des bâtiments et des espaces publics, notamment durant les périodes chaudes. Par ailleurs, la végétalisation des toitures et des façades peut contribuer à la diminution des consommations énergétiques dans les bâtiments, ces derniers étant moins sensibles aux conditions extérieures, leurs besoins énergétiques pour maintenir une température intérieure confortable sont moins importants (présence d'une couche isolante supplémentaire (efficacité dépendante de l'épaisseur du substrat), diminution des

températures dans les espaces publics, lorsque la quantité d'eau disponible est suffisante, ce qui peut influencer sur les consommations énergétiques liées à la climatisation des bâtiments en période estivale). À l'échelle d'un îlot/quartier ou d'une ville, la végétalisation des bâtiments influe sur les causes liées au phénomène d'îlot de chaleur urbain. Elle permet de diminuer le phénomène de stockage de chaleur pendant la journée et le réchauffement nocturne de l'air en protégeant les bâtiments du rayonnement solaire. Le phénomène d'évapotranspiration permet le rafraîchissement

de l'air et la diminution des températures de surface. La végétation en façades participe également à diminuer le niveau sonore au sein des rues (canyons notamment)<sup>60</sup>.

En termes de lutte contre la pollution atmosphérique, les impacts doivent être nuancés : la fiche "Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable" réalisée par l'Atmo Nord Pas-de-Calais et l'APPA rappelle que "des expositions en laboratoire mettent en évidence les capacités d'absorption des polluants (NO<sub>x</sub>, COV, ozone) par les végétaux, qui varient selon le polluant et l'espèce végétale (arbres, arbustes, herbacées, feuillus, conifères, feuillage caduque ou persistant, etc.). Cependant peu d'évaluations concrètes sur le terrain ont été réalisées. Le piégeage des particules par les feuilles est avéré, mais il est transitoire et reste difficile à calibrer, car de nombreux facteurs interviennent. Les données actuelles ne permettent pas de dresser une liste d'espèces à planter pour réduire la pollution atmosphérique, la diversité de la végétation étant un facteur favorable à la qualité de l'air."

• **Végétalisation des façades et des toitures : des bénéfices nombreux**

La végétalisation des façades et des toitures correspond à l'implantation de végétaux sur les parois (toitures ou façades) de bâtiments. Trois types de végétalisation de toitures existent et, selon le type considéré, leurs caractéristiques varient :

- la végétalisation intensive (ou toitures vertes) se caractérise par de fortes épaisseurs, fortes charges, et un entretien important. Elle permet ainsi de pouvoir accueillir une végétation très diversifiée et parfois de grande hauteur (arbres). Elle peut également avoir une fonction récréative en étant accessible au public ;
- la végétalisation extensive correspond à un tapis végétal (épaisseur limitée à 15 cm) ayant vocation à être autonome (entretien limité), elle peut concerner des toitures de pente très forte (45° et plus). Bien que d'une épaisseur limitée, le tapis végétal peut déjà participer à la rétention en eau et donc dans une certaine mesure à la gestion des eaux pluviales ;
- la végétalisation dite semi-intensive dont l'épaisseur de substrat atteint jusqu'à 40 cm d'épaisseur peut contribuer à la gestion des eaux

pluviales et limiter les vitesses de ruissellement. Les façades végétalisées peuvent prendre deux formes :

- des façades disposant d'un revêtement végétalisé. Les façades sont recouvertes de plantes grimpantes ou qui poussent sur un support proche de la paroi (treillage, câbles supports) ;
- des façades dont la végétation constitue un élément de paroi. La végétation est plantée sur un sol artificiel vertical qui constitue le support de culture<sup>60</sup>.

Aujourd'hui, la végétalisation des façades et toitures doit permettre de répondre à des enjeux de confort thermique et acoustique (intérieur et extérieur), et de diminution des consommations énergétiques. Par ailleurs, les toitures végétalisées peuvent contribuer de manière significative à la gestion des eaux pluviales et donc à la résilience des territoires.

Du point de vue des consommations énergétiques, les toitures et façades végétalisées ont un effet direct sur les consommations d'énergies en modifiant le bilan énergétique au niveau des parois, et lorsqu'une couche de substrat est présente, en créant une couche supplémentaire entre l'extérieur et l'intérieur<sup>60</sup>.



## ENJEU

## VÉGÉTALISATION DES FAÇADES D'UNE RUE CANYON



- + Diminution d'au moins 5 dB du niveau de bruit selon différentes configurations : orientations, hauteurs et largeurs<sup>61</sup>.



- + Effet de piégeage des particules fines et absorption des NO<sub>x</sub> pour certaines espèces.
- + 1 m<sup>2</sup> de lierre *Hedera helix* (plante grimpante) est capable de fixer PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>. Rendement : 2,9.1010 particules/m<sup>2</sup> de lierre<sup>62</sup>.  
Une analyse plus détaillée des impacts de la végétalisation en ville sur la qualité de l'air est disponible dans la fiche "Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable" réalisée par l'Atmo Nord Pas-de-Calais et l'APPA<sup>57</sup>.



- + Diminution du rayonnement solaire et de sa réflexion (absorption de 70 % de celui-ci) et donc amélioration du confort thermique des usagers en période estivale au sein de la rue et plus largement à l'échelle du quartier (modification du microclimat environnant, essentiellement dans le cas de rues confinées et en agissant sur les bâtiments environnants<sup>63</sup>).
- + Diminution des températures de surface dans la rue permettant une diminution du transfert de chaleur à l'air par convection.
- ! Augmentation de l'humidité au sein de la rue résultant du phénomène d'évapotranspiration. Une trop grande humidité de l'air peut causer des situations d'inconfort au sein de l'espace public.



- + Diminution des consommations énergétiques liées à la climatisation en période estivale car le confort thermique au sein des bâtiments est amélioré. Les parties végétalisées ne se réchauffent pas sous l'influence du rayonnement solaire (particulièrement valable pour les bâtiments peu ou pas isolés).
- + Diminution des consommations énergétiques par l'ajout d'une couche isolante supplémentaire liée à la présence du substrat (l'effet d'isolation thermique augmentant avec l'épaisseur de celui-ci).

<sup>61</sup> Les résultats présentés ici sont issus du programme de recherche VegDUD, les caractéristiques des scénarios et configuration étudiés sont disponibles dans les fiches de synthèse (p.28 notamment) : Rôle du végétal dans le développement urbain durable – Pommier G., Provendier D., Gutleben C., Musy M. – Impacts du végétal en ville – Fiches de synthèse. Programme de recherche VegDUD – Plante & Cité – 2014

<sup>62</sup> M. Cuny, L. Verrougstraete, M. Brocvielle, D. Cuny ; Implantation de végétation en ville : quels sont les enjeux pour l'environnement, la santé et les pistes d'actions ? Congrès Paysage Urbanisme et Santé - Rennes – 2014

<sup>63</sup> Rôle du végétal dans le développement urbain durable – Pommier G., Provendier D., Gutleben C., Musy M. – Impacts du végétal en ville – Fiches de synthèse. Programme de recherche VegDUD – Plante & Cité – 2014

ENJEU

VÉGÉTALISATION DES TOITURES



- + Dans une cour intérieure, les toitures végétalisées apportent un très léger gain acoustique (côté opposé à la rue). La diminution est de 3 dB(A) (toiture terrasse) et jusqu'à 8 dB(A) (toits inclinés)<sup>64</sup>.



- + 20 % des toitures des locaux commerciaux et industriels de Détroit recouverts de Sedum : diminutions de 889 tonnes par an des quantités de NO<sub>2</sub> dans l'air<sup>65</sup>. Des impacts davantage détaillés de la végétalisation en ville sur la qualité de l'air sont disponibles dans la fiche "Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable" réalisée par l'Atmo Nord Pas-de-Calais et l'APPA.



- + Diminution des GES liées à la réduction de la demande énergétique des bâtiments mais également à l'augmentation du couvert végétal (l'augmentation du couvert végétal de 10 % à New York pourrait permettre de diminuer le taux d'ozone au sol de 3 %<sup>66</sup>, néanmoins il est nécessaire de prêter attention au choix des plantes afin d'éviter des plantations contreproductives<sup>67</sup>).
- + Diminution de la température de surface jusqu'à 5°C (par rapport à la température ambiante) si le substrat est très humide (Sr=0.9).
- + Diminution de la température à l'échelle du quartier par une incidence sur le microclimat.



- + Diminution des consommations énergétiques liées aux besoins énergétiques pour le maintien du confort thermique en périodes estivale et hivernale. Les ordres de grandeur sont les suivants<sup>68</sup>:
  - En période estivale : **gains énergétiques d'environ 23 %** (voire 28 % si la toiture est arrosée) (en cas de canicule : gain de 4 %, et si les toitures sont arrosées environ 12 %) (d'après un exercice de simulation réalisé sur la ville de Paris sur une période de 10 ans),
  - En période hivernale : **gains énergétiques d'environ 4,5 %**.
- ! L'impact direct des toitures végétalisées se concentre essentiellement sur les derniers étages.

<sup>64</sup> Pour une épaisseur de substrat de 10 cm (Source : Hosanna - www.greener-cities.eu)

<sup>65</sup> Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain - Marie-Amélie Cuny (APPA Nord Pas de Calais) et Michel Thibaudon (RNSA) - diaporama

<sup>66</sup> A Plan to Integrate Management of Urban Trees into Air Quality Planning Luley and Bond - 2002

<sup>67</sup> Programme Villes Durables 2009 (Doctoral dissertation, IRSTV FR CNRS 2488). Musy, M., Bozonnet, E., Briottet, X., Gutleben, C., Lagouarde, J. P., Launeau, P., ... & Sabre, M. (2014). Rapport final Projet ANR-09-VILL-0007 VegDUD

<sup>68</sup> Rôle du végétal dans le développement urbain durable - Pommier G., Provendier D., Gutleben C., Musy M. - Impacts du végétal en ville - Fiches de synthèse. Programme de recherche VegDUD - Plante & Cité - 2014



## CAS CONCRET

LA VÉGÉTALISATION DES GRANDES VILLES :  
DES BIENFAITS AVÉRÉS

© Mortimer62

**Paris :** 10 ans de simulation sur la ville de Paris (période de 1999 à 2008) ont mis en évidence des économies d'énergie permises par la présence de toitures végétalisées, cela quelle que soit la saison par rapport à la situation de référence. Les gains atteignent 23 % (voir 28 % lorsque les toitures sont arrosées) en été. En hiver, le gain est d'environ de 4,5 %. Dans le cadre d'une canicule semblable à celle de 2003, la végétalisation des toitures permet de réduire de 4 % la consommation d'énergie et si ces toitures sont arrosées il est possible d'avoir des gains de 12 %.

**Nantes :** une simulation sur la ville de Nantes pour la période de mai 2011 à septembre 2012 a démontré que, pour une zone étudiée, la végétalisation de 50 % des toitures (correspondant à 8 % de la surface totale de la zone) permet de diminuer de 0.25°C la température à 2 mètres..

**New York :** une étude menée à New York a montré que l'augmentation du couvert végétal de 10 % permettrait de diminuer de 3 % le taux d'ozone au sol.

- **Végétalisation dans les espaces publics : des atouts, mais des points à surveiller**

Afin d'agir sur le climat urbain, tout en limitant au maximum les risques sanitaires pour la population, les professionnels de l'aménagement peuvent notamment se baser sur différents outils et guides qui sont mis à leur disposition. La fiche "Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable" réalisée par l'Atmo Nord Pas-de-Calais et l'APPA recense certaines ressources utiles existantes.

Cette fiche recommande de diversifier les espèces et de varier les formes (pelouses, arbres, arbustes, toitures végétalisées...) et taille (jardins particuliers/parc urbain...) des végétaux. Les travaux ne permettent cependant pas de disposer d'une liste d'espèces.

Elle recommande également de veiller à prendre en compte l'ensemble des paramètres qui peuvent impacter la température en ville et la pollution atmosphérique : "encaissement des rues, densité et disposition des bâtiments, revêtements des surfaces, intensité du trafic routier, sources de pollution de proximité, direction des vents dominants, etc.". Elle rappelle enfin que pour optimiser les bénéfices liés à la présence de végétaux dans la ville, il faut être vigilant sur le choix des espèces et la gestion de la végétation en essayant le plus possible de "limiter les espèces invasives ; limiter les espèces les plus émettrices de terpènes ; éviter les espèces les plus allergisantes ; réduire l'usage des produits phytosanitaires ; favoriser la plantation d'espèces locales ; mettre en place des pratiques de gestion différenciée."

ENJEU

VÉGÉTALISATION DES ESPACES PUBLICS



- + La mise en œuvre d'un mur végétalisé tend à réduire les niveaux sonores dans l'espace public.  
Des réductions de 0.5 à 3 dB(A) suivant les configurations source/récepteur ont été observées lors d'une étude Ad hoc<sup>69</sup>. En MF (400-2500Hz), réduction sonore modérée due à l'absorption acoustique du substrat de plantation. Efficacité maximale en HF (>3150 Hz) due au substrat et en plus due à la diffusion par le feuillage de l'aménagement.
- + Des résultats positifs sont aussi observés<sup>70</sup> après mise en place d'écrans bas végétalisés et de merlons bas au niveau de rues 2 et 4 voies.



- La présence d'arbres dans les rues en canyon freine la dispersion des polluants<sup>71</sup>. Les arbres peuvent aussi diminuer les infiltrations d'air dans les bâtiments et donc conduire à une concentration des polluants plus importante au niveau de l'air intérieur.
- ! Attention au potentiel allergisant (PA) et aux risques allergiques (RA) des végétaux<sup>71</sup>.  
Des impacts détaillés de la végétalisation en ville sur la qualité de l'air sont disponibles dans la fiche "Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable" réalisée par l'Atmo Nord Pas-de-Calais et l'APPA<sup>72</sup>.



- + Effet brise vent des arbres qui agit comme isolant : réduction du taux d'infiltration de l'air froid extérieur et de la perte de chaleur vers l'extérieur<sup>72</sup>.  
Considérations similaires à celles explicitées dans le cas de la végétalisation des toitures et des façades liées à la présence de végétaux en milieu urbain.

<sup>69</sup> Évaluation acoustique in situ d'un mur végétalisé – David Lunain (Cerema) – Journée Recherche Acoustique et Thermique des parois végétalisées – Groupe HEI ISA ISEN – 2014

<sup>70</sup> Diminution du bruit urbain par des moyens naturels – Jérôme DEFRANCE, CSTB École d'Automne – Ville et Acoustique – Nantes, 2013

<sup>71</sup> Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain – Marie-Amélie Cuny (APPA Nord Pas de Calais) et Michel Thibaudon (RNSA) – Diaporama

<sup>72</sup> Fiche ville durable et urbanisme n°3 – Végétaliser la ville pour créer un environnement urbain sain et durable – Atmo Nord Pas-de-Calais, APPA Juin 2015





## FOCUS

### CERTAINES ESPÈCES D'ARBRE RÉAGISSENT L'ÉTÉ AVEC LES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES, AU DÉTRIMENT DE LA QUALITÉ DE L'AIR !

Des chercheurs ont montré qu'en période d'été, les émissions polluantes dues au transport routier peuvent réagir avec les composés volatils émis par les arbres et certains végétaux en milieu urbain, et se traduire par une détérioration de la qualité de l'air. Voilà un exemple de divergence des enjeux qu'il convient de prendre en compte dans la réflexion.

- L'étude menée à Berlin (et financée en partie par le programme européen COST Action FP1204 "GreenInUrbs") révèle que lors d'un épisode de canicule, 20 % des concentrations en ozone proviendraient d'une interaction entre les COVs émis par la végétation et les polluants présents en milieu urbain.
- L'étude souligne qu'en présence de NO<sub>x</sub> - polluant notoire de la circulation routière -, certains composés organiques volatils tels que les isoprènes, les monoterpènes et les sesquiterpènes produits par la végétation peuvent être la cause d'une détérioration de la qualité de l'air. En milieu urbain et périurbain, en présence de concentrations importantes de NO<sub>x</sub>, les isoprènes contribuent à la pollution par l'ozone au niveau du sol ; quant aux monoterpènes et aux sesquiterpènes, ils augmentent la production d'aérosols atmosphériques (particules fines PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>).
- Les plantes produisent les terpènes pour protéger leurs cellules contre les agressions que constituent les épisodes de sécheresse ou les fluctuations de température. **L'eucalyptus, le chêne et le peuplier** sont les principaux arbres producteurs d'isoprène.
- Cette étude vient corroborer un faisceau d'éléments qui attestent que les COVs émis par les arbres en milieu urbain peuvent aggraver la pollution de l'air. On gardera toutefois à l'esprit que les arbres sont aussi capables de capturer une certaine part de l'ozone dans leurs feuilles, contribuant ainsi à réduire les niveaux ambiants.
- Cette étude ne dit pas qu'il faut arrêter de planter des arbres en ville. Elle suggère que si l'on réussissait à réduire notablement la pollution de l'air, les citoyens pourraient bénéficier l'été des nombreux bienfaits apportés par la végétalisation et les arbres (lutte contre les îlots de chaleur urbains, développement de la biodiversité urbaine, réduction des effets du dérèglement climatique, etc.).
- **Référence de l'étude** : Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B, et al. (2017). Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. *Environmental Science & Technology*, 51(11): 6120– 6130. DOI: 10.1021/acs.est.6b06514

### 3.1.3 Le cas particulier du tramway dans la végétalisation des voies de TCSP



Depuis une vingtaine d'années, le tramway constitue un moyen de transport en commun de plus en plus privilégié par les grandes villes. Ce mode de déplacement, électrique et sans émissions polluantes locales, joue en faveur du développement durable. D'autant plus qu'il est relativement silencieux. Il participe donc à l'amélioration de la qualité de vie, de l'environnement et facilite les déplacements pour les habitants. Conscientes de l'importance de l'écologie, certaines villes veulent favoriser l'extension de leur réseau de tramway. C'est l'occasion d'accorder une plus grande place au végétal et, plus généralement, de repenser l'aménagement et l'ambiance de ces espaces urbains. Les aménageurs des voies tramway se tournent de plus en plus vers une végétalisation de ces voies au détriment d'une solution minérale.

Il existe deux manières de végétaliser ces voies : d'une part, au niveau de la plateforme de roulement (zone située entre les rails et de part et d'autre des voies), par l'implantation de différentes plantes (gazon de graminées, sedums, mélanges etc..) et, d'autre part, au niveau des bordures des voies (barrières basses végétalisées, arbustes...). Ces solutions de couvertures végétales apportent de nombreux avantages, qu'ils soient esthétiques, écologiques ou encore acoustiques. Cependant, ces aménagements paysagers comportent également plusieurs contraintes, notamment liées à la présence des caténaires au-dessus des rails et au caractère linéaire des voies<sup>73</sup>. Dans différentes villes, des expérimentations sont menées pour remplacer le revêtement gazon classique par d'autres types de végétaux (ex : sedums), afin de trouver la végétation la mieux adaptée au contexte local (notamment contexte météorologique) et optimiser les coûts<sup>74</sup>.

#### • Revêtement végétal des voies de tramway

#### ENJEU

#### REVÊTEMENT VÉGÉTAL DES VOIES DE TRAMWAY



L'engazonnement des voies de tramway permet une réduction de l'ordre de 6 dB(A) du bruit au passage d'un tramway par rapport à l'utilisation d'un revêtement réfléchissant (de type enrobé)<sup>75</sup>. Les basses fréquences sont atténuées majoritairement par le substrat<sup>76</sup> (ex : terre végétale, pouzzolane, compost...) et les fréquences plus élevées (au-dessus de 3000 - 4000 Hz) sont atténuées principalement par la végétation. L'épaisseur du substrat est donc un critère à ne pas négliger, notamment pour le développement des végétaux.



Il est prouvé que certains végétaux contribuent à réduire la concentration de certains polluants. Le dioxyde d'azote<sup>77</sup> et les particules (adsorption des particules PM<sub>10</sub><sup>78</sup> par les graminées et les sedums) sont les polluants qui ont à ce jour le plus fait l'objet de travaux publiés.

Le gazon a surtout un effet de capture des poussières : par contact entre l'air et la feuille, et par ralentissement de l'air (qui n'a alors plus la force de transporter les particules les plus lourdes). L'herbe capterait trois à six fois plus de poussières qu'un sol nu.

D'autres paramètres influencent la qualité de l'air et la dispersion des polluants : direction du vent, topographie des lieux, encaissement des rues, disposition des bâtiments, nombre de véhicules, composition du parc automobile, etc.

<sup>73</sup> Expériences de végétalisation de plateformes de tramways en zones Nord/Ouest – Plante & Cité – Rapport 9 pages – Avril 2016

<sup>74</sup> Quelle trame verte sous les tramways ? Paysage actualités, HADDAD, Yaël – n° 340, p. 20-21 – Juin 2011

<sup>75</sup> Guide pour l'élaboration des plans de prévention dans l'environnement – ADEME – 2008

<sup>76</sup> Sound propagation over soft ground without and with crops and potential for surface transport noise attenuation. Bashir, Imran; Taherzadeh, Shahram; Shin, Ho-Chul and Attenborough, Keith (2015). Journal of the Acoustical Society of America, 137(1) pp. 154-164

<sup>77</sup> Végétation en ville : quels enjeux pour l'environnement et la santé – APPA Hauts de France – (dossier - 8 pages) – 2012

<sup>78</sup> Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city - A.F. Speak & al. Journal of atmospheric environment – 2012





**+** Effet de diminution des températures aux abords des voies de tramway, induisant un meilleur confort pour les usagers, notamment en période estivale (permet de participer à la lutte contre les îlots de chaleur urbains).

**+** Capacité de rétention des eaux de pluie et limitation du ruissellement lié aux surfaces imperméables du sol (effet fonction du choix de substrat, de son épaisseur et de la végétation).



La consommation énergétique dépend du type de revêtement :

**+** Revêtement de type sedum : ces plantes grasses sont résistantes aux aléas climatiques, sont peu demandeuses en eau et nécessitent un faible entretien (une à deux tontes annuelles). Elles ont par contre une faible résistance au piétinement.

**-** Revêtement de type gazon : coûts d'entretien élevés (tonte)<sup>79</sup> et forte consommation d'eau.

#### • Conseils pratiques

Pour le revêtement végétal des voies de tramway, tenir compte du choix du substrat, du climat local, des espèces de plantes, pousse et entretien, résistance à la sécheresse, piétinement, roulement, etc. Le choix du substrat (qualité et épaisseur) et le choix des espèces de plantes jouent un rôle sur le plan de la rétention des eaux de pluie et de prévention du ruissellement sur les voies annexes.

#### • Écrans bas végétalisés en bordure des voies de tramway

### ENJEU

#### BARRIÈRES VÉGÉTALISÉES DE FAIBLE HAUTEUR (H < 1 M) EN BORDURE DES VOIES DE TRAMWAY



**+** Réduction de 8 à 14 dB(A)<sup>80</sup> pour un écran bas végétalisé (moins d'1 m de haut) et un récepteur à 1,5 m de hauteur.

NB : Réduction > 10 dB(A)<sup>81</sup> avec une barrière en bois aggloméré + laine de verre du côté exposé au tramway pour mesure à 3 m du rail à 1,5 m de hauteur (barrière non végétalisée mais spécifiquement adaptée à l'atténuation du bruit de tramway).



**+** Diminution des polluants de l'air par adsorption par les végétaux (cf. tableau précédent).



**+** Diminution des températures aux abords des voies de tramway induisant un meilleur confort pour les usagers, notamment en période estivale (contribution à la lutte contre les îlots de chaleur urbaine).



**-** Entretien des barrières végétales (taille) et arrosage nécessaire.

<sup>79</sup> Essais de végétalisation pour la seconde ligne de tramway aggro Orléans – Enjeux, pratiques et conclusions

<sup>80</sup> Exemple de méthodes végétalisées pour l'atténuation du bruit des transports terrestres – Projet Hosanna – Bruno Vincent – Diaporama

<sup>81</sup> A study on the acoustic performance of tramway low height noise barriers: gradient-based numerical optimization and experimental approaches – Alexandre Jolibois, Université Paris-Est (2013) – Thèse – 205 pages

CAS CONCRET

**LES TRAMWAYS VERTS :  
ILS ROULENT SUR DES PLATEFORMES VÉGÉTALISÉES**



**Paris (ligne T3) :** L'agence de paysage Péna & Pena, la ville de Paris et la RATP ont mis en place un site d'expérimentation dans le cadre de la prolongation de la ligne de Tramway T3<sup>82</sup>. Vingt espèces de plantes différentes ont été testées pendant plus d'un an, avec deux types de substrats différents (mais de même épaisseur) et deux modes de plantation différents.

Résultats : pour la méthode, la plantation en tapis est la plus efficace, le substrat comprenant du compost est le plus adapté (capacité de rétention d'eau, drainage, portance, apports nutritifs, frein à la pénétration du froid dans le sol), les espèces *Matricaria tchihatchewii* et *Thymus praecox* sont les plus adaptées au contexte : bonne couverture et densité végétale, croissance rapide, résistance au piétinement et au roulement, entretien mécanique et limité, consommation en eau importante, mais correspondant à la moitié de celui utilisé pour un gazon. D'autres exemples de solutions de couvertures végétales des lignes de tramway avec différentes techniques de pose de voies en vue de végétaliser, sont testées dans plusieurs villes françaises<sup>83</sup>.



© Plante & Cité

**Nantes :** L'Agence de Paysage Phytolab a accompagné la Ville de Nantes<sup>84</sup> dans sa démarche de végétalisation de plateformes de tramway. Les avantages et les inconvénients des végétaux de type sedums et mélange de sedums sont les suivants : aspect esthétique, peu d'arrosage, peu d'apports nutritifs, peu de résistance au piétinement et au roulement, nécessité d'un désherbage manuel.

**Orléans :** L'agglomération a opté pour un mélange fleuri : graminées, vivaces et un mélange gazon rustique homogène, après un constat technique, écologique et économique de leur expérimentation<sup>85</sup>.

**Dijon :** Une expérimentation en cours, menée dans le cadre de "Dijon c'est ma nature ! J'agis pour la biodiversité", cherche à minimiser l'impact environnemental lié à l'entretien des plates-formes engazonnées et de favoriser la biodiversité urbaine. Elle consiste à étudier l'adaptation de portions variables de trèfles "micro-nains" (utile aux insectes pollinisateurs, "auto-nutrition" azotée et le non-dépassement des hauteurs maximales de végétation autorisées) sur les voies de tram. Les résultats devraient paraître d'ici deux ans<sup>86</sup>.

**Lausanne :** Une étude de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne<sup>87</sup> a étudié la possibilité d'aménager les voies de tram par un site végétalisé et trafic motorisé, afin de permettre, en plus du passage du tram, le passage occasionnel des véhicules d'urgence et des bus. Une fiche de synthèse sur les solutions proposées est disponible.



© Caen-la-Mer - ASyAs

**Caen-la-Mer :** En 2019, un nouveau tramway circulera sur le territoire de la Communauté urbaine Caen-la-mer. Plus de 55 % de la nouvelle plateforme sera végétalisée. Caen la mer a réalisé des essais de végétalisation : quatre mélanges ont été retenus, suivant leur résistance au piétinement, leur tolérance à l'ensoleillement et à la sécheresse, leur qualité esthétique, leur capacité de régénération, etc.<sup>88</sup>



<sup>82</sup> Expériences de végétalisation de plateformes de tramways en zones Nord/Ouest – Plante & Cité – Avril 2016 – Rapport 9 pages

<sup>83</sup> Quelle trame verte sous les tramways ? Paysage actualités, HADDAD, Yaël (juin 2011), n° 340, p. 20-21 (2 pages)

<sup>84</sup> Expériences de végétalisation de plateformes de tramways en zones Nord/Ouest – Plante & Cité – Avril 2016 – Rapport 9 pages

<sup>85</sup> Essais de végétalisation pour la seconde ligne de tramway agglomération Orléans – Orléans Agglo – Cléo – Atelier Ville et paysages

<sup>86</sup> "Dijon c'est ma nature ! J'agis pour la biodiversité" – Expériences de végétalisation innovante des plateformes de roulement du Tram, Communiqué de Presse

<sup>87</sup> Tramways - site végétalisé et trafic motorisé – École Polytechnique fédérale de Lausanne – Elise Moatti Bérénice Guibou – Design Project 2015 (fiche de synthèse)

<sup>88</sup> Communiqué de presse Caen-la-Mer – 14 mai 2018



## FOCUS

## MODÉLISATION ACOUSTIQUE D'UNE VOIE DE TRAMWAY EN SITE PROPRE DANS UNE RUE TYPE "CANYON" : CAS DU PROJET DE PROLONGEMENT DU TRAMWAY "ROUTE DE TOULOUSE" À BORDEAUX

La crainte de faire circuler un tramway dans une rue "canyon" où la réverbération peut être importante, pousse à chercher des solutions pour restreindre au mieux les bruits maximums au passage des circulations de tramway. En partant d'un niveau initial où le sol entre les rails est en pavés, les différents calculs montrent l'efficacité de la végétalisation de l'infrastructure et de son environnement. Les écrans bas sont également une solution à l'égard des piétons et des rez-de-chaussée.

### 1. Paramètres acoustiques du modèle

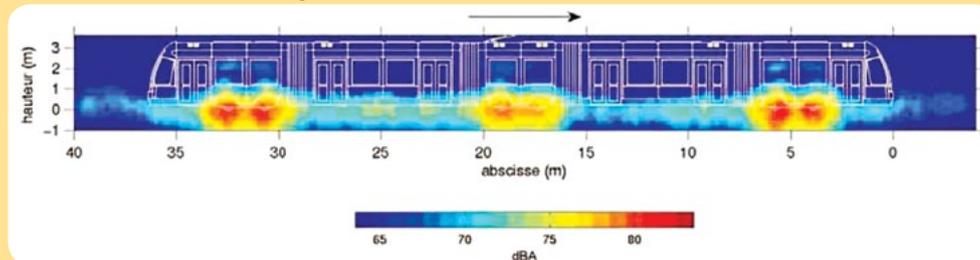


Figure n°1 : Résultats de mesures par antennerie acoustique (tramway de Nantes)

La modélisation est effectuée en prenant comme données d'entrée, les caractéristiques du tramway de Nantes. Une cartographie des résultats de mesures par antennerie sur ce tramway circulant à 40 km/h est représentée ci-dessus<sup>89</sup>.

Il est convenu que le bruit de roulement est la source de bruit principale à partir de 15-20 km/h. La source de bruit est alors placée au niveau des bogies à 50 cm du sol. La directivité des sources est quasi omnidirectionnelle pour les niveaux globaux entre 5 et 70°. Cette information est particulièrement importante si l'on réfléchit en termes d'écran acoustique bas. Il ne s'agit plus de fermer un angle de 30° comme pour les matériels ferroviaires interurbains.

Les niveaux de bruit émis varient en fonction de la vitesse du tramway. Le logiciel Mithra utilisé pour les calculs suivants utilise la fonction  $L = 29,5 \log_{10}(v)$ .

La littérature montre que le remplissage entre les rails a une importance significative,

en particulier à 1000 Hz. La pose des rails est également importante :

- Les dispositifs anti vibratiles ne sont pas des dispositifs antibruit.
- Les dispositifs sur dalle flottante conduisent à une augmentation de 2 dB(A) quelle que soit la vitesse.
- Les dispositifs type "chausson" peuvent présenter des atténuations allant jusqu'à 4 dB(A) à 30 km/h suivant certaines sources.

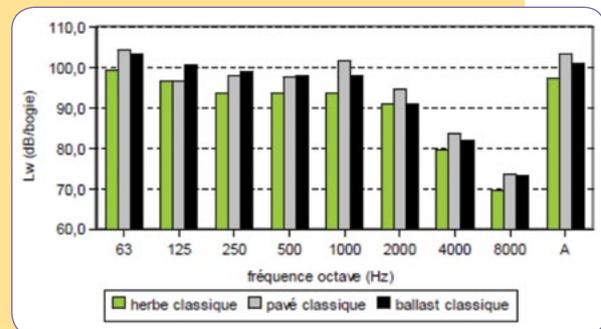


Figure n°2 : puissance acoustique par bogie

<sup>89</sup> Les données acoustiques sur les tramways sont issues d'une publication du Certu "bibliographie sur l'émission acoustique des tramways" – 2009

## 2. Paramètre géométrique du modèle

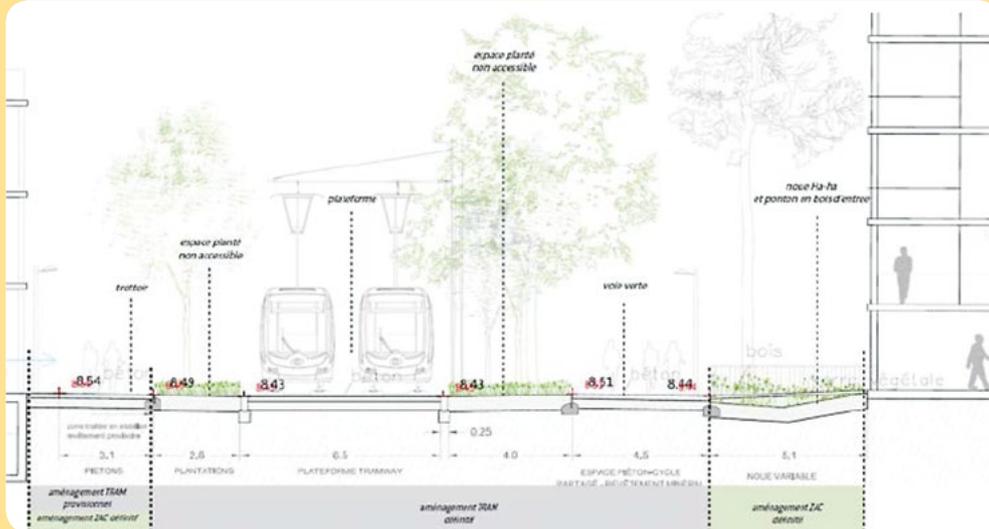


Figure n°3 : Géométrie du site propre de la route de Toulouse (Bordeaux Métropole)

La modélisation sous logiciel Mithra, prend en compte de la gauche vers la droite, une bande de 3.1 mètres de large réfléchissante (béton), une bande plantée absorbante de 2,8 m de large, les voies ferrées de 6,5 mètres de large avec un remplissage réfléchissant en première modélisation, une bande plantée (absorbante) de 4 mètres de large, et une dernière bande réfléchissante de 9,6 mètres de large.

## 3. Simulations

Dans une première modélisation, l'entrevoie de l'infrastructure est revêtu de pavés. Un calcul est effectué pour un récepteur placé au premier étage d'un bâtiment au plus près de la voie (bâtiment de gauche sur la figure précédente). L'évolution temporelle ci-contre (figure n°4) représente les conséquences acoustiques du passage d'un tramway sur la voie de gauche pour le récepteur étudié. On voit que, vu depuis le récepteur et pour une vitesse de 30 km/h, le bruit effectue une montée puis une descente au cours du temps. Si nous prenons comme point de comparaison le point de mesure de bruit LD5 (9 avenue Georges Clemenceau à Villenave d'Ornon) cité dans l'étude d'impact du projet, le niveau LAeq de nuit est de 50,5 dB(A), soit une émergence du bruit du tramway sur le bruit de fond d'environ 37 secondes. Le bruit maximum calculé ici au passage d'un tramway est de 69,6 dB(A) et dure 4,7 secondes.

La simulation suivante (fig. n°5) reprend la même configuration, en remplaçant les pavés entre les rails par de l'herbe. Nous constatons que la durée de l'émergence a diminué d'environ 5 secondes et que le bruit maximum a baissé de 3 dB(A).

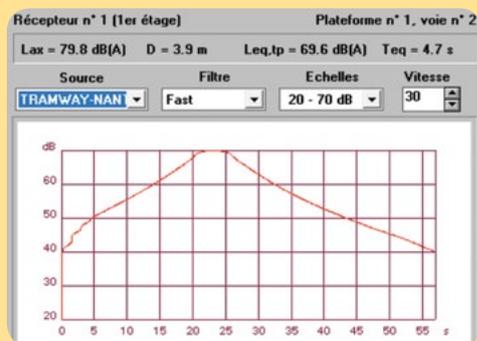


Figure n°4 : Pavés dans l'entrevoie

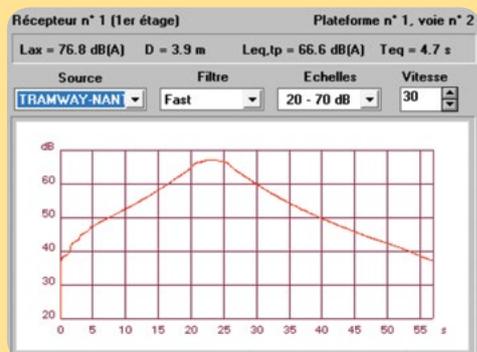


Figure n°5 : Herbe dans l'entrevoie



La figure n°6 reprend les caractéristiques de la simulation précédente en plaçant un mur bas le long de la voie circulée la plus à gauche. Le mur a une hauteur de 1 mètre, placé à 1 mètre du rail extérieur. Il est en matériau absorbant. La durée d'émergence est comparable, mais le niveau maximum baisse de 1,4 dB(A).

Une dernière modélisation (fig. n°7) est effectuée avec un mur bas, de l'herbe entre les rails et un minimum de végétalisation sur les façades.

Cette végétalisation (qui aurait également un rôle dans la lutte contre les ICU) est modélisée d'une part avec une bande de 4 mètres de large sur la hauteur du bâtiment, éloignée de 3 mètres du récepteur (les points de calculs sont censés être placés au centre d'une ouverture) et d'autre part avec la même bande de végétaux placée sur l'immeuble en face, du côté droit de la rue. Le calcul est effectué pour un récepteur au 1<sup>er</sup> étage. Un gain de 2,3 dB(A) est observable par rapport à la modélisation de la figure n°6, et de presque 6,7 dB(A) par rapport à la modélisation primitive (fig. n°4).

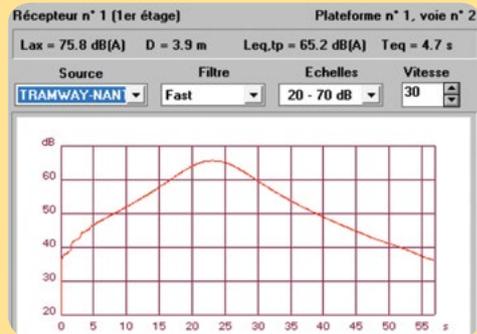


Figure n°6 : Herbe dans l'entrevoie et mur bas

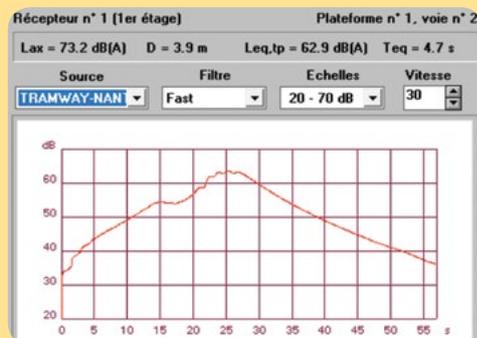


Figure n°7 : Mur bas, herbe entre les rails et végétaux sur les façades



Figure n°8 : Montage photographique d'un mur bas (prototype PBM) le long du tramway de Nantes (© PBM Groupe)

3.2

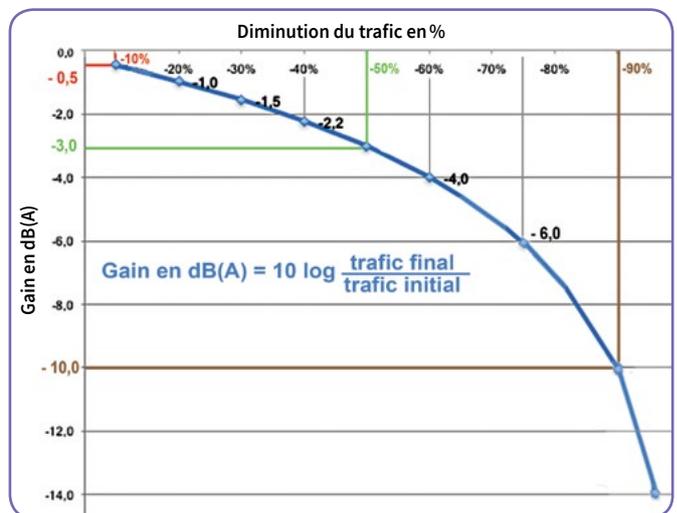
LES ACTIONS  
LIÉES AUX TRANSPORTS  
ET À LA MOBILITÉ

**TRANSPORT :  
DES ACTIONS À MULTIPLIER**

*Pour diminuer l'impact des transports sur le climat, la qualité de l'air ou la consommation d'énergie, plusieurs leviers existent avec des niveaux différents d'efficacité en termes de lutte contre le bruit. Ces leviers, tels que la réduction du trafic, la limitation des vitesses, l'instauration de zone à circulation restreinte, le développement des transports en commun en site propre, la montée en puissance des motorisations électrique et hybride... si on les multiplie, peuvent, in fine, conduire à une diminution significative du bruit. Une étude méticuleuse des interactions et des points de vigilance répertoriés doit avoir lieu en préalable à leur mise en œuvre.*

• **Réduction du trafic**

Du fait de la nature logarithmique de l'échelle des décibels, quel que soit le nombre initial de véhicules, diviser par deux le volume de trafic (réduire de 50 %) équivaut à une diminution du niveau sonore de 3 dB(A) (voir schéma ci-dessous). Or, 3 dB(A), c'est l'écart en décibels à compter duquel l'oreille humaine commence à percevoir nettement une variation de bruit ; pour qu'un son soit perçu deux fois moins fort, il faut l'atténuer de 10 dB(A), ce qui équivaut à diminuer le trafic de 90 % ! La réduction du trafic est donc un enjeu de taille importante.



Correspondance entre gains en dB(A) et diminution du volume de trafic

3.2.1 Actions sur le trafic



Dans un avis publié en mars 2018<sup>90</sup>, pour diminuer les impacts des transports sur la qualité de l'air, l'ADEME donne la priorité à la réduction du trafic, notamment en milieu urbain, et place en second lieu les évolutions du parc en termes de motorisations et carburants. Ce levier de la réduction du trafic concerne des actions qui combinent plusieurs types d'évolutions en matière de :

- besoins de déplacements,
- modes de transport (pour les personnes comme pour les marchandises),
- types de mobilité (vélo, marche...),
- organisation de ces mobilités (systèmes de libre-service, de co-voiturage, d'autopartage...),
- incitation aux changements de comportement (eco-conduite...).

Quant aux polluants atmosphériques, le principe général de calcul des émissions repose sur l'équation de base suivante :  $E = A \times FE$  où **E** est l'émission, généralement exprimée en masse, **A** l'activité des émetteurs (généralement exprimée en véhicules.km) et **FE** un facteur d'émission unitaire (en g/km). La formule ci-dessus montre que les émissions de polluants atmosphériques, contrairement au bruit, évoluent linéairement avec les variations du volume de trafic à iso-conditions de circulation (soit le A de l'équation, c'est-à-dire le nombre de véhicules.km dans le cas des émissions routières). Autrement dit, quand on réduit le trafic de 50 %, on réduit les **émissions** de polluants de moitié si les conditions de circulation (vitesse, congestion) restent inchangées (mais pas leur **concentration**, qui est fonction notamment des phénomènes de dispersion). Cette formule montre aussi que les émissions routières de certaines substances

<sup>90</sup> Émissions de particules et de NO<sub>x</sub> par les véhicules routiers – Avis de l'ADEME – Collection Expertises – Mai 2018



peuvent rester stables malgré une diminution du facteur d'émission unitaire (le FE de l'équation), si celle-ci est compensée par une augmentation de l'activité. Le modèle COPERT (COMputer Program to calculate Emission from Road Transport) est fondé sur une base de données des facteurs d'émission routiers qui permettent de convertir des données quantitatives d'activité en émissions de polluants. Dans le cas du trafic routier, le facteur d'émission unitaire d'un véhicule spécifique, exprimé en g/km, désigne la quantité de polluant émis par celui-ci sur un parcours d'un kilomètre. Un facteur d'émission (FE) est attribué à chaque polluant et pour chaque catégorie de véhicule. Il est fonction du type de véhicule (véhicule particulier, utilitaire léger <3,5t, poids lourd, dont autobus et autocars), de son mode de carburation (essence, diesel), de sa cylindrée (ou PTAC pour les poids-lourds) et de sa date de mise en circulation (pour tenir compte des normes d'émission, notamment les normes Euro, et de son âge). Il est par ailleurs fonction de la vitesse moyenne du véhicule considéré, et plus

généralement de l'usage du véhicule (taux de chargement, déclivité de la route, etc.).

COPERT intègre les surémissions dues aux moteurs à froid, les surémissions liées à la pente et à la charge (poids-lourds), les surémissions pour des véhicules anciens et/ou ayant un kilométrage important (véhicules essence catalysés), ainsi que les corrections liées aux améliorations des carburants. Les émissions hors échappement, produites notamment par l'usure des pneumatiques, des pièces mécaniques du véhicule, des freins et du revêtement de chaussée sont également prises en compte dans le modèle COPERT. Si le modèle COPERT est très intéressant pour connaître l'influence de différents paramètres sur les émissions, il ne faut pas oublier les incertitudes liées à ces calculs. La principale source d'incertitude porte sur le parc roulant, qui reste incertain dans le cadre d'une projection à moyen et long terme et en l'absence de mise à jour régulière des hypothèses.

**ENJEU**
**LEVIER : ACTION SUR LE VOLUME DE TRAFIC**

**+** La relation entre le nombre de véhicule Q et le niveau de bruit Leq est la suivante :  
 $Leq(Q \text{ véhicules}) = Leq(1 \text{ véhicule}) + 10 \log(Q)$ .

Compte tenu de la nature logarithmique de cette relation, et de la difficulté à réduire le nombre de véhicules, le levier de la baisse du trafic est moyennement efficace pour réduire le niveau sonore. La modification d'un plan de circulation peut en revanche influencer significativement le nombre de véhicules en circulation. Par exemple, la mise à sens unique d'une rue peut localement se traduire par une diminution intéressante du nombre de véhicules et donc de l'émission sonore.



Diminution du volume de trafic	-10 %	-20 %	-30 %	-40 %	-50 %	-60 %	-75 %	-90 %	-99 %
Réduction du niveau sonore en dB(A)	-0,5	-1,0	-1,5	-2,2	-3,0	-4,0	-6,0	-10,0	-20,0

**!** La réduction du volume de trafic peut induire un regain de fluidité, ce qui peut inciter les automobilistes à rouler plus vite et donc à générer plus de bruit.



**++** Si un grand nombre de paramètres influent sur les facteurs d'émission pour chaque type de véhicule, la réduction du trafic (volume d'activité des émetteurs en véhicule.km) reste un levier prépondérant, qui influe directement sur les quantités de polluants émis.

 Le secteur des transports (combustion d'énergie fossile) constitue la principale source de GES (avec 29,2 % en 2014).

En 2016, les émissions de GES dues aux transports sont pour la première fois en (légère) régression : une tendance à la baisse va-t-elle s'installer ?

Emissions de gaz à effet de serre du transport (En millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>)<sup>91</sup>

Année	1991	2006	2011	2016
Transports	121,7	139,5	133,4	132,8
Transport routier	114,6	132,7	127,0	126,5



Les véhicules électriques restent producteurs de gaz à effet de serre (phase de production d'électricité), si bien que la réduction du trafic reste le principal levier de réduction des GES dus aux transports.

Les transports de marchandises et de voyageurs sont concernés par l'obligation d'une information relative à la quantité de CO<sub>2</sub> émise à l'occasion d'une prestation de transport. Un guide méthodologique<sup>92</sup> a été édité par le ministère en charge de l'environnement. Le dispositif d'information CO<sub>2</sub> des prestations de transports met à disposition les données de référence suivantes pour le calcul :

- les facteurs d'émission des sources d'énergie ;
- les valeurs de niveau 1 relatives aux taux de consommation de source d'énergie des moyens de transport et au nombre d'unités transportées dans les moyens de transport.

Ces données sont d'ores et déjà incluses et mise à disposition gratuitement par l'ADEME sur le site Internet de la Base Carbone ([www.basecarbone.fr](http://www.basecarbone.fr)).

### • Report du trafic de transit (déviation)

Le report de 1000 véh/j d'une voie écouant 10000 véh/j vers une voie écouant 1000 véh/j par exemple se traduirait par :

- Une diminution du trafic de 10 %, soit - 0,5 dB(A) seulement pour la voie la plus chargée ;
- Une hausse du trafic de 100 %, soit une augmentation de +3 dB(A) pour la voie cible du report.

Ces pourcentages sont aussi vrais pour les émissions de polluants atmosphériques, mais la dispersion aidant, l'effet néfaste du report est moins contrasté que pour le bruit. Ces considérations doivent s'accompagner d'une réflexion de l'impact sur la population riveraine de ces deux voies routières. Quoi qu'il en soit, ces effets indirects soulignent la nécessité d'une réflexion d'ensemble. Pour le seul critère acoustique, on voit ici la limite de l'effet de déconcentration du trafic.

## ENJEU

### LEVIER : ACTION SUR LE VOLUME DE TRAFIC



Réduction sur les itinéraires concernés.



Augmentation sur les voies cibles du report



Augmentation sur les voies cibles du report



Baisse de l'ensemble des émissions de GES et de la consommation énergétique sur les itinéraires concernés par une baisse de trafic.

<sup>91</sup> SDES ; CCTN 2017 d'après Citepa – Format Secten – Avril 2017

<sup>92</sup> Information CO<sub>2</sub> des prestations de transport – Application de l'article L. 1431-3 du code des transports – Guide méthodologique – Octobre 2012



### • Régulation du trafic

L'objectif de la régulation du trafic est une amélioration de la fluidité de l'écoulement des véhicules. Il s'agit de transformer un régime de trafic de type pulsé avec de fortes accélérations et freinages en un régime de trafic de type fluide continu avec des vitesses constantes. Les principales mesures de régulation du trafic sont la gestion centralisée des feux tricolores et la création d'ondes vertes. Dans les grandes agglomérations, les gains potentiels en matière de consommation d'énergie, de pollution atmosphérique et de bruit peuvent être importants. Lorsque l'on s'approche de la saturation<sup>93</sup>, des phénomènes de congestion peuvent apparaître avec des effets d'accélération et de freinage (accordéon) et le trafic se transforme alors en un régime de type pulsé. Une baisse de la vitesse limite, notamment sur voie rapide ou autoroute, peut entraîner la diminution de la congestion : on revient alors à un régime de trafic de type fluide continu. Le risque de dégradation à moyen terme de l'efficacité des mesures de régulation de trafic peut être contrebalancé par une mise en œuvre systématique de mesures d'évaluation et de suivi du trafic.

#### Gestion centralisée des feux, ondes vertes

##### ENJEU

##### LEVIER : GESTION CENTRALISÉE DES FEUX, ONDES VERTES

		Diminution de 3 dB(A) environ	 De meilleures conditions de circulation peuvent induire une augmentation du trafic à terme
		Baisse du CO	
		Peu ou pas de réduction des NO <sub>x</sub>	
		Baisse CO <sub>2</sub>	
		Baisse de la consommation	

##### CAS CONCRET

### LA GESTION DES VITESSES DES VÉHICULES ROUTIERS

**Niort et Amiens :** de nouvelles gestions centralisées des feux sur Niort et Amiens ont été évaluées en termes de variations d'émission et de consommation de polluant par enregistrement des cycles représentatifs d'un large panel de trajets effectués sur les zones régulées par des véhicules instrumentés. Sur Amiens, des gains de 9,5 % sur la vitesse moyenne de parcours, 25 % sur les émissions de CO, 5 à 7 % sur la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>, ont été évalués un an après. Pendant cette période, le volume de la circulation augmentait de 2,9 %. Sur Niort, alors que l'augmentation de trafic globale sur la zone était plus importante (6,8 %), les gains de 4 % sur la vitesse moyenne de parcours, de 1,5 % sur les émissions de CO ainsi que la stagnation des émissions de NO<sub>x</sub>, de la consommation et des émissions CO<sub>2</sub> ont été évalués<sup>93</sup>.

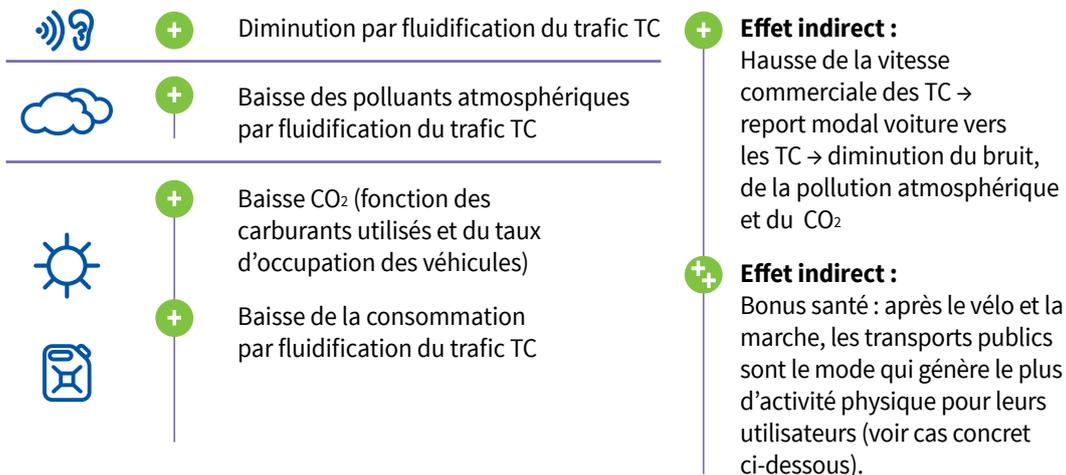
**Paris :** L'expérience parisienne montre que, sur voie rapide urbaine, la limitation de vitesse par signalisation accompagnée par des panneaux à messages variables a un effet à court terme positif sur les vitesses les plus élevées, qui pondèrent fortement les émissions des polluants. Des limitations de 20 km/h en deçà des limites habituelles sur le réseau rapide apporteraient un gain non négligeable (dans l'hypothèse où le trafic reste fluide) vis-à-vis des émissions globales d'une agglomération, car ces voies drainent généralement une grosse part des trafics urbains. Les expériences réalisées dans différentes villes françaises dans des conditions de circulation fluide donnent des gains de l'ordre de 10 à 20 % sur les vitesses moyennes et de 15 à 25 % sur la vitesse dépassée par 15 % des véhicules<sup>93</sup>.

<sup>93</sup> Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacement urbains (PDU), Certu/ADEME – Juin 2008

Régulation du trafic en faveur des transports en commun

ENJEU

**LEVIER : MESURES DE RÉGULATION EN FAVEUR DES TC (TRAM, BUS), JUMELÉES AVEC CERTAINS AMÉNAGEMENTS DE VOIRIE COMME LES COULOIRS RÉSERVÉS**



FOCUS

**LES BIENFAITS DE L'USAGE DES TRANSPORTS COLLECTIFS**

Île-de-France : Une étude de 2016<sup>94</sup> montre que les Franciliens utilisant les transports en commun font en moyenne 9 minutes de plus de marche physique modérée ou vigoureuse (APMV) par jour. Le Programme National Nutrition Santé (PNNS) recommande au moins 30 minutes par jour d'APMV pour les adultes âgés de 18 à 65 ans.

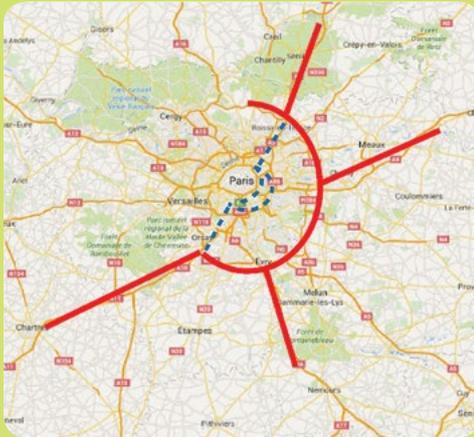


<sup>94</sup> Note Repères n°5 : Les transports en commun, un générateur d'activité physique quotidienne lié à la mobilité – Observatoire de la mobilité en Île-de-France Juin 2016

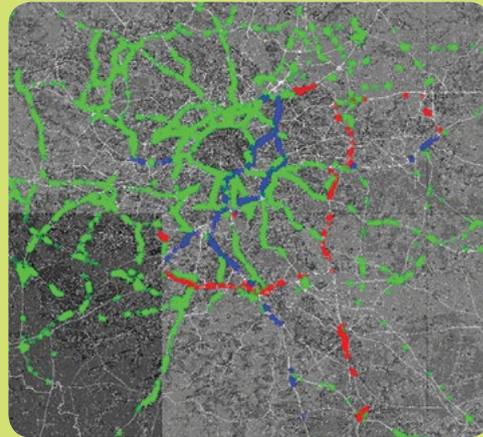


## CAS CONCRET

## ÉVALUATION DES POLITIQUES DE TRANSPORT PAR LA MODÉLISATION COMBINÉE DE LA QUALITÉ DE L'AIR ET DU BRUIT : ÉTUDE DE CAS SUR LE PPA D'IDF (CEREMA)



Contournement par la Francilienne pour le trafic des poids-lourds en transit



Impact bruit du contournement du trafic PL par la Francilienne

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- Déviation du trafic de transit
- Augmentation de la population impactée par le bruit

### OBJECTIFS

- Répondre à deux questions évaluatives importantes pour les politiques de transports :
  - quelles sont les bonnes données à utiliser pour évaluer la qualité de l'air et le bruit ?
  - comment peut-on améliorer les méthodologies d'évaluation des impacts sur la qualité de l'air et le bruit ?

### CONTEXTE

L'étude de cas réalisée par le Cerema : développement d'une méthodologie de modélisation pour mesurer l'impact air-bruit des restrictions de la circulation des poids-lourds dans le centre de Paris à partir de corrélations avec les données de trafic.

### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

- Les résultats de la modélisation air-bruit de la déviation des poids-lourds ne doivent pas être utilisés pour évaluer les niveaux d'exposition mais uniquement en comparaison avec les résultats du scénario de base (pas de calage réalisé avec des mesures).
- Une quantification de la population dont l'exposition au bruit change significativement est réalisée en tenant compte des co-expositions (trafic aérien et voies ferrées).
- Les résultats d'impact sont classés selon :
  - pour le bruit en 5 niveaux de -5dB à +5dB (négligeable,





perceptible + ou -, significatif + ou -), avec un seuil à 2dB correspondant à la valeur réglementaire de la loi sur l'air pour intervenir sur l'isolation des façades ;  
- pour les polluants NO<sub>x</sub> et PM en 3 classes d'émission avec un seuil à +/- 100 g/km pour une section de voie, étant considéré que les valeurs inférieures n'entraînent pas d'évolutions significatives de la concentration en polluants.

- L'étude est réalisée dans un périmètre de 300 m autour des voies pour le bruit et les NO<sub>x</sub>, 150 m pour les PM.
- Une mesure généralisée de détournement des poids lourds dans le PPA d'IdF entraînerait une augmentation significative du niveau de bruit nocturne pour plus de 30 000 personnes.

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

- Il est impératif que les données communes utilisées pour les modélisations air et bruit, principalement celles listées ci-après, proviennent des mêmes sources :
  - données de trafic (trafic annuel moyen, vitesse, part de poids-lourds) ;
  - population et établissements sensibles ;
  - autres sources de pollution ;
  - topographie et bâtiments ;
  - données météo.
- La PLATEforme nationale Mutualisée d'Aide au Diagnostic Environnemental (PlaMADE), développée par le Cerema, vise ainsi à mettre à disposition un meilleur partage et une mutualisation de l'information géographique à différents niveaux géographiques pour permettre, par exemple, la réalisation de diagnostics territoriaux santé-environnement, en vue de l'élaboration des futurs plans régionaux (PRSE 3) ou la révision de l'inventaire national spatialisé des émissions polluantes (INS). Pour le bruit, un lien est réalisé avec la nouvelle norme CNOSSOS-EU devant être utilisée comme méthode commune de génération des cartes stratégiques de bruit dans toute l'Europe à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019.

#### POINTS DE VIGILANCE

- Il est nécessaire d'aller au-delà des obligations réglementaires concernant l'air et le bruit car les approches dissociées peuvent conduire à des effets négatifs. En effet :
  - la réglementation concernant les études d'impact d'un projet limite la zone d'étude au seul projet pour le bruit tandis qu'elle l'élargit pour l'air à toutes les voies pour lesquelles le projet conduit à une variation de 10 % du trafic. À l'inverse, sur une échelle temporelle, la réglementation sur le bruit impose en général une projection à 20 ans, tandis qu'aucune obligation ne s'applique pour l'air ;
  - les méthodologies de mesures sont aussi souvent différentes : pour le bruit une combinaison de mesures in-situ et de projections de bruit lié au trafic, pour l'air une série de mesures réparties sur au moins 8 semaines à différentes saisons, sans analyse du trafic observé.
- Ainsi, concernant cette mesure de détournement du trafic poids-lourds, la mono-approche axée uniquement





...

sur l'amélioration de qualité de l'air conduirait à accroître fortement la population exposée au bruit.

### CONTACT

- Virginie DUNEZ – virginie.dunez@Cerema.fr

### POUR ALLER PLUS LOIN

- “Combined air quality and noise evaluation of transport policies: methodology and feedbacks”, Philippe DUNEZ, Virginie DUNEZ & Christine BUGAJNY, Cerema Nord Picardie
- “Construire une information géographique partagée pour mieux appréhender les enjeux liés au bruit des transports terrestres”, B. Miega et Al., Cerema / Acoucité, CFA / VISHNO 2016

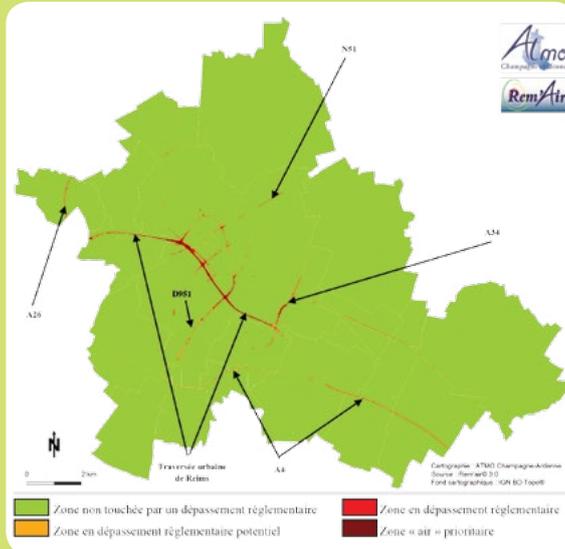
### RECOMMANDATIONS

- 3.2.1. Actions sur le trafic

## CAS CONCRET



### COMMUNAUTÉ URBAINE DU GRAND REIMS : POLITIQUE GLOBALE DE RECHERCHE D' ACTIONS CONVERGENTES DE GESTION DU BRUIT ET DE DIMINUTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE



Carte stratégique de l'air (ATMO Grand Est, 2016)



Cartographie du bruit (Impédance, 2012)

...



**CONVERGENCE  
CLIMAT, AIR,  
ÉNERGIE, BRUIT**

- Optimisation des flux de circulation par des aménagements de la voirie
- Extension de la zone 30 sur l'hypercentre pour faciliter le partage du domaine public au profit des modes actifs
- Favoriser le basculement vers des motorisations moins émissives des poids lourds et des véhicules utilitaires légers sur le dernier kilomètre des livraisons en centre-ville
- Sensibilisation du public "la qualité de l'air l'affaire de tous"

**OBJECTIFS**

- Apaisement de l'hypercentre
- Diminution locale des émissions de polluants
- Diminution locale de l'exposition au bruit

**CONTEXTE**

- Au cœur d'une zone d'échanges privilégiés, l'agglomération rémoise est, ainsi, au carrefour de trois autoroutes (A26, A4, et A34) qui favorisent les trafics de transits.
- Une autoroute urbaine traverse l'agglomération au droit des zones les plus urbanisées.
- Nombreux déplacements pendulaires vers Reims.
- Des dépassements des valeurs réglementaires en NO<sub>x</sub> et des nuisances sonores localisées : zones situées au droit des grandes infrastructures de transport (A26, voie Taittinger, A 34, N51 et D951), ainsi que sur le centre-Ville de Reims, secteur très urbanisé, zone la plus exposée, notamment en proximité des voies structurantes (diagnostic de la qualité de l'air sur l'agglomération rémoise, Rem'air<sup>®</sup> - année 2016, ATMO, 2016).
- PPBE approuvé en 2013 avec la mise en œuvre d'une opération de résorption des points noirs du bruit et une démarche participative pour identifier et préserver les zones calmes.
- PPA initié en 2015 : a permis de diminuer les émissions et les concentrations en PM<sub>10</sub> et en NO<sub>x</sub> : passer de 6 000 personnes au-dessus des seuils en 2015 à 40 personnes aujourd'hui ; il n'existe plus de dépassements en PM<sub>10</sub> ; seuls persistent des dépassements en NO<sub>x</sub>.
- La CUGR est lauréate de l'appel à projet "Villes respirables en 5 ans".
- La CUGR et la ville de REIMS ont signé une convention TEPCV en 2017.
- Pour ce fait, le territoire du pôle de proximité REIMS METROPOLE visé par l'avis du 15 février 2017 de la commission européenne et l'arrêt du 12 juillet 2017.

**RÉSULTATS /  
RÉALISATIONS**

- Volonté d'optimiser les flux de circulation et les motorisations pour réduire à la fois l'exposition au bruit et aux polluants atmosphériques.

**FACTEURS CLÉS  
DE SUCCÈS**

- En parallèle de cette politique d'apaisement en centre-ville, opportunité de synergie avec un projet d'aménagement (requalification d'une friche industrielle)
- Bon niveau de collaboration entre chargés PPBE et PCAET (tous deux appartiennent à la même direction du développement durable)





...

- *Gouvernance : la direction du DD joue un rôle d'ensemblier auprès des services Urbanisme (élaboration du PLU, permis d'aménager), Voirie (plan de circulation, aménagement des voiries) ou Déplacement (PDU, schémas directeur de marchandises).*
- *Carte stratégique Air établie en 2016 : importance de cumuler tous les polluants sur une même carte.*
- *Existence d'un trio d'élus convaincus de l'importance des enjeux, sur lesquels s'appuyer : l' élu au DD, l' élu chargé des espaces verts et espaces urbains (vice-présidente d'ATMO Grand Est), et le vice-président aux déplacements, participent au comité de suivi du PPA et de la réalisation de la feuille de route.*
- *Le précédent Plan Climat avait déjà intégré la qualité de l'air.*
- *Volonté au niveau du PPBE de lier Bruit et Qualité de l'air.*

**FINANCEMENT**

- *Financement ADEME pour le traitement des points noirs du bruit (80 % du coût des travaux)*

**POINTS DE VIGILANCE**

- *Difficulté d'acceptation par les habitants de mesures touchant à la circulation (actuellement, à Reims, on circule correctement).*
- *Une politique basée sur la gestion des flux de circulation et du changement de motorisation prend du temps pour obtenir des résultats.*
- *Nécessité en parallèle de satisfaire les attentes à court terme des riverains des axes bruyants.*
- *Agglomération concernée par la directive européenne sur le bruit passée l'an dernier de 7 à 143 communes !*

**CITATION**

- *Agnès Arnoult : "Les mesures entreprises en matière de préservation de la qualité de l'air limitent aussi les nuisances sonores. Il existe donc un co-bénéfice."*

**CONTACT**

- *Agnès Arnoult – Direction du Développement durable - Service Environnement Biodiversité Risques et Pollutions - Reims Métropole – agnes.arnoult@reimsmetropole.fr*

**POUR ALLER PLUS LOIN**

- *PCAET novembre 2015*
- *PPBE 2013-2018*

**RECOMMANDATIONS**

- **3.2.1. Actions sur le trafic**
- **3.2.2. Limitation des vitesses**

### 3.2.2 Limitation des vitesses



Les mesures de réduction de vitesse, qu'elles s'appliquent en centre-ville ou sur des axes majeurs, qui s'observent dans de nombreuses collectivités françaises et européennes, s'inscrivent dans la plupart des cas dans une dynamique de contribution à la sécurité routière et à l'amélioration de la qualité de l'air. Ces mesures impactent également d'autres critères et notamment l'environnement global à proximité de ces voies. En effet, les impacts portent sur l'environnement sonore, la qualité de vie et l'attractivité des zones riveraines concernées.

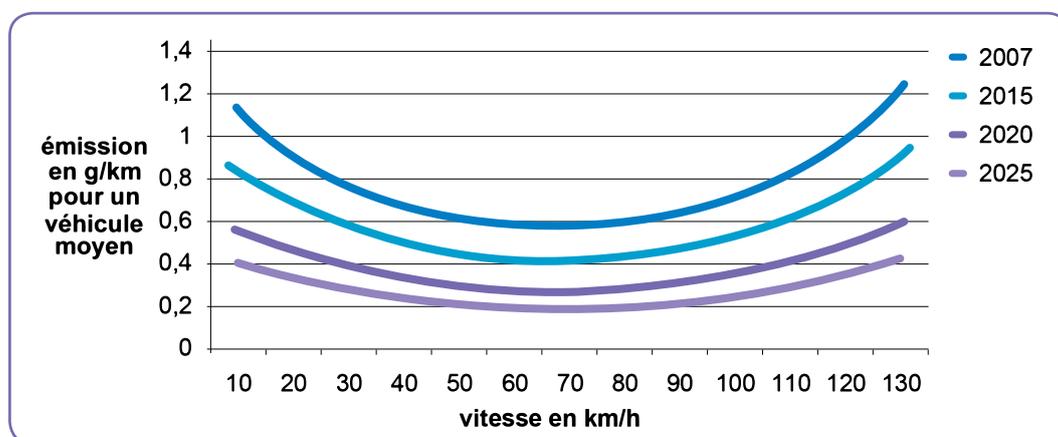
Les aspects sanitaires sont par exemple concernés à travers l'évolution de l'exposition aux polluants. Cependant la relation entre vitesse des véhicules et émissions n'est pas linéaire mais fonction de multiples paramètres. La figure ci-dessous illustre bien la problématique en montrant que, pour les émissions de NO<sub>x</sub> des véhicules légers, le régime moteur optimal se situe plutôt autour de 70 km/h. Établir des vitesses limites en dessous de cette valeur ne se traduirait donc pas par une réduction mais par une augmentation des émissions de NO<sub>x</sub> générées par les véhicules légers, et le cas est similaire pour d'autres polluants. Cette figure révèle tout de même une bonne nouvelle : avec la modernisation des motorisations, les courbes s'aplatissent. L'influence de la vitesse sur les émissions est de moins en moins marquée : entre 2007 et 2025, l'écart entre les émissions de NO<sub>x</sub> à 30 km/h et celles à 70 km/h a été diminué par 2. Quoi qu'il en soit, de nombreux facteurs influent sur les émissions de polluants et sur le bruit généré par

les véhicules. Les considérations et recommandations propres à ces mesures dépendent donc des configurations rencontrées et du type de voies.

#### • Limitation des vitesses sur les voies urbaines

Sur les voies urbaines de type "ville", l'impact de la limitation de vitesse (passage de 50 km/h à 30 km/h) est très contrasté, de nombreux facteurs influent sur la réalité des émissions (sonores et polluants) et sur les concentrations atmosphériques. Il faudra par exemple tenir compte de l'impact de la limitation de vitesse sur la nature du trafic, sur son report sur d'autres axes et sur la congestion. Des variations importantes peuvent être constatées en fonction des scénarios choisis ou des typologies de zone, mais aucune tendance ne se dégage nettement<sup>95</sup>.

L'analyse des impacts réels sur la qualité de l'air des limitations de vitesses montre en effet une situation très contrastée pour le passage de 50 à 30 km/h. Toutefois, les effets bénéfiques multicritères de cette mesure doivent être considérés, on rappelle notamment que "le passage de 50 à 30 km/h en agglomération peut également permettre un apaisement du trafic, et conduire à un meilleur partage entre les différents modes de déplacement (marche, vélo, voiture et transports en commun), dans une logique d'optimisation de l'utilisation de l'espace public. À terme, le passage de 50 à 30 km/h devrait donc permettre de favoriser les modes de transport les moins polluants et reste une solution à étudier, dans les conditions particulières de chaque projet"<sup>95</sup>.



Évolution des émissions de NO<sub>x</sub> en fonction de la vitesse des véhicules légers<sup>96</sup>

<sup>95</sup> Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit – Ademe – 2014

<sup>96</sup> Émissions routières de polluants atmosphériques – Courbes et facteurs d'influence – SETRA, CETE LYON, CETE NORMANDIE-CENTRE – 2009



## ENJEU

LEVIER : BAISSÉ DE LA VITESSE LIMITE RÉGLEMENTAIRE  
SUR VOIES URBAINES

**+** “Des évaluations avant et après la mise en œuvre des mesures montrent que lorsque la limitation de vitesse est effectivement respectée, les gains en matière de bruit sont durables et de l'ordre de 2 à 3 dB(A) en niveau moyen, cela étant probablement dû pour partie à la régulation des régimes moteur, et pour partie à la dissuasion du trafic de transit inhérente à ce type de mesure<sup>97</sup>”.

**!** “Pour de faibles vitesses de circulation, la limitation de vitesse ne conduit pas toujours à une baisse du niveau de bruit. Des éléments peuvent alors apparaître comme générateurs du bruit routier : aménagement, revêtements de chaussées, débit élevé et nature du trafic...”<sup>95</sup>

**!** Reports du trafic et des pollutions sur d'autres itinéraires.



**!** Augmentation possible des émissions de polluants<sup>95,98</sup>. Les résultats sont contrastés et dépendent fortement des typologies de zones et des scénarios méthodologiques : les résultats varient ainsi de -40 % à +30 % pour le NO<sub>2</sub>, et de -45 % à +100 % pour les concentrations de benzène.

**+** Diminutions de 10 % pour les COV, de 20 % pour le CO et de 35 % pour les NO<sub>x</sub> dans les zones riveraines, dues à la dissuasion du trafic de transit<sup>97</sup>.



**!** “Effet positif non assuré en ville, où il pourrait être plus utile de mettre en place des mesures contre la congestion bien dimensionnées afin de réduire les émissions”<sup>97</sup>.



**!** Le passage à un régime pulsé, marqué par des accélérations et décélérations plus fréquentes peut se traduire par une augmentation des consommations énergétiques.

**+** À terme, les mesures visant un apaisement du trafic favorisent le report modal, et réduisent donc la consommation énergétique sur le territoire considéré.

Les effets liés à d'éventuels reports du trafic sur des zones proches nécessiteraient enfin d'être pris en compte, tout comme la remise en suspension, au passage des véhicules, des particules déposées sur la chaussée (les quantités remises en suspension sont liées à la vitesse des véhicules).

<sup>97</sup> Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacements urbains (PDU), Certu/ADEME – Annexes – Juin 2008

<sup>98</sup> Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique : enjeux, synergies et antagonismes – INERIS – 2009

Effets de la limitation à 30 km/h	Réflexion et propositions d'actions pour optimiser la mesure
Favorise un régime pulsé	Compensation via mise en place d'une voie à sens unique, via mise en place de zones à circulation limitée. Optimisation du nombre de feux de signalisation, optimisation des carrefours, suppression d'éventuels obstacles ou ralentisseurs, mesures de fluidification du trafic. Éviter les rues "canyon", et autres formes urbaines qui bloquent la dispersion des polluants.
Baisse du régime moteur	Sensibilisation des conducteurs, multiplication des panneaux d'avertissement et de signalisation, réduction de la largeur de la chaussée.
Diminution du trafic de transit	S'assurer que la limitation est effectivement respectée : mise en place de panneaux, radars, contrôles, ... Approche globale pour contrôler le report du trafic.
Apaisement du trafic (et renforcement sécurité)	Mise en place de pistes cyclable, élargissement des voies piétonnes, végétalisation de l'espace et des voiries...
Incitation au report modal	Développer l'offre de transport en commun, les plateformes multimodales, l'attractivité de l'espace pour les modes actifs. Mettre en place des contraintes de stationnement en parallèle.

## CAS CONCRET

### LA CIRCULATION LIMITÉE AUX BASSES VITESSES EN EUROPE

**Allemagne<sup>99</sup>** : "La mise en œuvre du concept d'approche intégrante a été reprise avec les zones 30 en Allemagne. Elle a eu pour effet de modifier les modes de conduite et de réduire l'intensité et la durée des accélérations. L'expérience de la ville de Buxtehude près de Hambourg, où le concept a été étendu sur toute la ville (25 000 habitants), montre que, comme les conducteurs ne peuvent plus espérer y circuler à 50-70 km/h, ils passent plus rapidement la troisième vitesse de sorte que le régime moteur soit moins élevé. Par ailleurs, le trafic de transit dans ces zones a davantage de chances d'être dissuadé, ce qui y réduit d'autant les émissions polluantes : les évaluations font ressortir des baisses sur les émissions de polluants de 10 % pour les COV, de 20 % pour le CO et de 35 % pour les NO<sub>x</sub>."

**Pays-Bas<sup>99</sup>** : "Les limitations de vitesse, qui ont initialement été mises en œuvre aux Pays-Bas dans les années 70 pour servir avec succès des objectifs de sécurité, ont débouché sur des plans de circulation détaillés dans les zones résidentielles cherchant à concilier, plutôt qu'à les séparer, l'activité de ces zones avec la circulation. Ceci exige d'avoir une approche intégrante de l'aménagement de l'espace public, qui ne traite pas l'espace viaire indépendamment de l'espace résidentiel traversé et qui prenne en compte tous les modes de déplacements locaux."

**Autriche<sup>99</sup>** : "À Graz, en Autriche, une étude de la mise en œuvre d'une limitation à 30 km/h sur l'ensemble des voies secondaires de la ville a évalué les effets sur les émissions de polluants de cette mesure. Les émissions de NO<sub>x</sub> sont réduites de 28 % sur l'ensemble du réseau secondaire. Deux tiers de la réduction sont imputables au changement de mode de conduite et un tiers à la diminution de la circulation, reportée sur le réseau principal. Les réductions obtenues sur le CO (5 %) et les COV (8 %) sont moindres. Selon les auteurs de cette étude, les réductions de CO et COV sont à imputer à la baisse de trafic plutôt qu'à la réduction des vitesses qui, elles, tendraient plutôt à augmenter ces émissions."



<sup>99</sup> Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacements urbains (PDU), Certu/ADEME – Annexes – Juin 2008





**Orléans<sup>99</sup>** : Lig'Air, association de la région Centre, a mené une étude de surveillance des concentrations et émissions de zones 30 dans la ville d'Orléans. L'étude souligne qu'une réduction des vitesses de circulation dans les zones où circulent piétons et cyclistes (zones urbaines) serait en faveur de la sécurité routière mais, au contraire, défavorable en termes d'émissions polluantes, et ce du fait des profils de facteurs d'émissions. À faible vitesse, les véhicules consomment plus de carburant, et donc émettent plus de polluants dans l'atmosphère. Ainsi, il apparaît que les dispositifs qui engendrent une circulation pulsée de type dos d'âne sont responsables d'une surémission des véhicules. Pour certaines zones 30, la concentration de polluants mesurée par Lig'Air est supérieure au sein des zones 30 par rapport aux entrées et sorties. Cependant, certaines zones 30 indiquent des concentrations de même ordre de grandeur ou inférieures à celles mesurées dans des zones limitées à 50 km/h, qui s'expliquent par l'influence des aménagements dans les zones. L'étude Lig'Air met en avant le fait qu'une corrélation simple entre concentration dans l'air en polluants et vitesse des véhicules, n'est pas possible en raison de l'influence des aménagements de voirie, dont les impacts sur la qualité de l'air peuvent constituer une multitude de sources d'émissions. Ainsi, la mise en place d'une zone 30 ne conduit pas systématiquement à une réduction des émissions liées au trafic automobile. Au contraire, une multiplication de la mise en place de ces zones peut conduire à une augmentation des émissions polluantes et contribue à la dégradation de la qualité de l'air. Lig'Air indique que l'effet négatif de l'installation d'une zone 30 sur les émissions peut être compensé par la mise en place d'une voie à sens unique, diminuant ainsi le trafic automobile. Dans une étude postérieure (2008), Lig'Air conclut que le recours à des aménagements permettant d'allier diminution de la vitesse et conservation d'une circulation fluide et constante (de type chicane) a un impact plus faible sur la qualité de l'air qu'un aménagement qui engendre une circulation saccadée (de type dos d'âne).

**Nantes<sup>99</sup>** : En décembre 2008, le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) anciennement CERTU, a étudié l'impact acoustique d'un aménagement de voirie en zone urbaine sur la ville de Nantes. Cet aménagement a consisté à mettre en place une zone 30 sur un tronçon de voirie de 400 mètres, en association avec une largeur de chaussée rétrécie et la mise en place d'un feu tricolore, afin de limiter la vitesse de circulation en zone habitée. Après avoir réalisé des mesures de bruit, les conclusions indiquent que l'aménagement a certes permis d'atteindre l'objectif d'amélioration de la sécurité, induisant une réduction significative des vitesses moyennes sur l'axe de 15 à 20 km/h, mais aussi que le bilan acoustique est plutôt mitigé. Il est fait mention d'un impact négatif de la réduction de vitesse sur la fluidité du trafic. Ce constat s'accompagne de l'apparition d'un rythme saccadé des véhicules du fait de l'augmentation des accélérations/décélération. La mesure réalisée en un point de rétrécissement de la voie montre une baisse sensible des niveaux sonores. Ainsi vis-à-vis des paramètres sécurité et bruit les dispositifs mis en avant sont ceux qui permettent de réduire la vitesse sans impliquer une circulation dite "pulsée" (type rétrécissement de chaussée, chicanes munies de refuges ou passages piétons plus ou moins surélevés, équipements peu bruyants).

**Mulhouse<sup>100</sup>** : L'agence d'urbanisme de la région mulhousienne a publié une étude qui pose et définit les enjeux de la voirie apaisée. Les principes d'aménagement sont présentés au moyen d'esquisses. Le document présente les résultats d'une enquête destinée à connaître les souhaits et les attentes des habitants de l'agglomération dans ce domaine.

<sup>99</sup> Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacements urbains (PDU), Certu/ADEME – Annexes – Juin 2008

<sup>100</sup> La voirie apaisée dans Mulhouse Alsace Agglomération... quels développements possibles? – Agence d'urbanisme de la région mulhousienne – 44 pages  
Mai 2018

## TÉMOIGNAGE

**Céline ANTUNES**

**“C’est prouvé, le niveau sonore baisse lorsque la vitesse est réduite de 50km/h à 30 km/h”**

*Chargée de la gestion des données environnementales et de la cartographie au service environnement air-climat de Grenoble-Alpes Métropole*



Grenoble-Alpes Métropole est la première agglomération française à généraliser la vitesse de 30 km/h sur la quasi totalité des villes et villages (43 communes) de son territoire. C’est un pari sur l’évolution des comportements, qui prendra du temps à se concrétiser. Il est donc encore un peu tôt pour tirer des conclusions définitives, mais Céline Antunes nous livre ici quelques résultats des premières campagnes d’observation.

*“Encouragées par une résolution du Parlement européen de 2011, de nombreuses villes européennes se sont déjà engagées en faveur d’une limitation de la vitesse autorisée à 30 km/h. Parmi elles : Berlin, Fribourg, Munich, Bruxelles, Copenhague, Bilbao, Zürich, Rotterdam, Amsterdam, Bologne...*

*Grenoble-Alpes Métropole est ainsi la première agglomération française à généraliser la vitesse de 30 km/h dans les villes et les villages. Un total de 43 communes de la Métropole ont choisi d’appliquer la généralisation du 30 km/h en 2017 pour tous les véhicules. L’objectif est d’améliorer la vie quotidienne au sein de notre territoire en faisant évoluer les comportements et en (ré)aménageant les villes et les villages. Cette généralisation de la vitesse à 30 km/h s’appuie sur une disposition de la loi de transition énergétique pour la croissance verte. Adoptée le 22 juillet 2015, elle modifie le Code général des collectivités territoriales et donne aux maires la possibilité d’abaisser la vitesse autorisée dans leur commune.*

*C’est prouvé, le niveau sonore baisse lorsque la vitesse est réduite, même si le trafic est dense. La circulation étant par ailleurs plus fluide à 30 km/h, il y a moins de coups d’accélérateur et de frein, donc moins de décibels. Dans le cadre du passage à 30 km/h, la cadence des feux de circulation tricolores est aussi ajustée au nouveau rythme du trafic. La suppression de feux devenus inutiles est expérimentée.*

*À 50 km/h, 35 % des piétons heurtés par un véhicule motorisé succombent ; à 30 km/h, ils ne sont que 5 %. Modérer la vitesse dans les villes et villages permet de diminuer le nombre d’accidents mais aussi leur gravité. La sécurité est un enjeu prioritaire de la Métropole apaisée.*

*Concernant l’évaluation, la première version du rapport d’évaluation sur les mesures des vitesses, réalisée sur un échantillon de 51 postes (pour 96 mesures, deux sens confondus), met en avant un effet de court terme de la mesure assez limité (vitesse moyenne en baisse de 1 km/h) et surtout, fortement différencié entre Grenoble et les 13 autres communes dans lesquelles l’évaluation a été menée.*

*Si la vitesse a en moyenne baissé de 3 km/h à Grenoble, elle a globalement été en légère hausse dans les 13 autres premières communes de “métropole apaisée” (mesures de juin 2016) avant de rebaisser légèrement pour la seconde série de mesures “après” octobre 2016.*

*La connaissance du dispositif est cependant fortement ancrée dans la population, en raison d’une campagne de communication importante et de la mise en place de marquage au sol qui rappelle la limitation à 30 km/h à chaque intersection ou transition avec un axe à 50 km/h. Les grands axes où l’on peut circuler à 50 km/h sont également repérés par un marquage horizontal. Principalement composé de lignes, le marquage sur la chaussée guide les usagers.”*



**• Limitation des vitesses sur les voies rapides**

La réduction des vitesses réglementaires se traduit généralement par une baisse et une plus grande homogénéité des vitesses pratiquées (diminution de l'écart type de la distribution), ainsi que par un écrêtement net des vitesses les plus élevées, de jour comme de nuit. L'effet sur la vitesse moyenne doit être nuancé cependant selon la taille de l'agglomération : il est moindre dans les plus grandes d'entre elles. On observe par ailleurs que la limitation agit sur une minorité d'usagers. En ce qui concerne les conditions d'écoulement du trafic, les expériences mises en œuvre ne révèlent pas d'effets significatifs concernant la fluidité du trafic, l'évolution des files d'attente, les distances inter véhiculaires ou les comportements des pelotons de véhicules. Les vitesses limites actuelles sont supérieures aux vitesses assurant un débit maximal, elles-mêmes comprises entre 50 et 70 km/h. Une réduction modérée des vitesses limites sur les routes ou voies rapides urbaines ne peut donc pas être à l'origine de congestions supplémentaires significatives. Par ailleurs, à trafic égal, la baisse de la vitesse moyenne généralement observée à la suite d'une réduction de la vitesse réglementaire a pour effet une diminution des temps de parcours globaux. Sur les principales artères, en dehors des centres-villes, les observations effectuées dans plusieurs pays montrent que les effets s'amenuisent dans le temps<sup>101</sup>. La limitation de vitesse permet d'agir sur le trafic en le fluidifiant et en réduisant la congestion. Le passage de 80 à 70 km/h d'une voie congestionnée va dans le bon sens pour la qualité de l'air, car il favorise la fluidité du trafic<sup>102</sup>.

**ENJEU**
**LEVIER : BAISSÉ DE LA VITESSE LIMITE RÉGLEMENTAIRE SUR VOIES RAPIDES**


Réduction généralement faible des émissions sonores avec les vitesses. Cette baisse varie de 0,2 à 3 dB(A) et tend à être plus significative pour des réductions de vitesse entre 50 et 90 km/h (1 à 1,5 dB(A)) par rapport à celles entre 90 et 130 km/h (0,7 à 1 dB(A))<sup>102</sup>. Pour un revêtement de chaussée donné, l'émission sonore d'un véhicule dépend de sa vitesse, de l'allure de circulation (conduite fluide, pulsée ou accélérée) et de la pente de la voie. Des abaques d'émission unitaire sont proposées sur le site du Cerema. La deufabase de l'IFSTTAR<sup>103</sup> permet aussi de simuler différentes vitesses.

- 100 km/h → 70 km/h : Diminution de 2 à 3 dB(A), gains supérieurs pour les pics de bruit<sup>101</sup>.
- 130 km/h → 70 km/h : Diminution de 4 à 5 dB(A) en niveau moyen et de 6 à 8 dB(A) en niveau de crête<sup>101</sup>.



- Diminution des NO<sub>x</sub> et PM avec un cycle de conduite favorable (autoroutes, voies rapides)<sup>104</sup>, diminution de l'ordre de 20 %<sup>102</sup>.
- Diminution des concentrations de polluants dans l'air ambiant pouvant atteindre 8 % selon les polluants<sup>102</sup>.



- Diminution des émissions de CO<sub>2</sub><sup>104</sup>. Pour les VL, les courbes d'émissions de CO<sub>2</sub> sont en U, le minimum se situant aux alentours de 60-70 km/h. Pour les PL, les courbes d'émissions de CO<sub>2</sub> diminuent avec la vitesse, l'optimum étant aux alentours de 90 km/h.
- Forte variabilité (de -30 % à +5 %) des gains pour les GES<sup>102</sup>, qui s'explique par la spécificité des axes étudiés, par les différences entre véhicules légers et poids lourds, ainsi que par les outils d'évaluation utilisés. Néanmoins une baisse des émissions de GES est logiquement attendue.



- Diminution de la consommation de carburant<sup>101</sup>.

<sup>101</sup> Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacements urbains (PDU), Certu/ADEME – Juin 2008

<sup>102</sup> Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit, ADEME – 2014

<sup>103</sup> <http://deufabase.ifsttar.fr>

<sup>104</sup> Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique : enjeux, synergies et antagonismes – INERIS – 2009

CAS CONCRET

**ABAISSSEMENT DE LA VITESSE LIMITE  
SUR LES VOIES RAPIDES EN EUROPE**



© Vascer

**Nantes<sup>101</sup>** : “À Nantes, la décision de limiter à 90 km/h et 70 km/h certaines sections de la rocade, dont la vitesse limite autorisée était initialement de 110 km/h, a été mise en application depuis 1998 aux motifs de la réduction des nuisances sonores et de l’amélioration des conditions de circulation”.

**Paris (boulevard périphérique)<sup>101</sup>** : “Depuis le 10 janvier 2014, la vitesse maximum autorisée sur le boulevard périphérique parisien est passée de 80 à 70 km/h. Bruitparif, l’observatoire du bruit en Île-de-France, a comparé les données de mesures de trois de ses stations déployées le long de la rocade parisienne. La baisse constatée s’établit à 1,2 dB(A) pour la période de nuit, et à 0,5 dB(A) pour la période de jour. L’évaluation a été réalisée à partir de la comparaison des niveaux sonores avant et après la limitation à 70 km/h, mesurés par trois stations de Bruitparif. L’une des stations est positionnée en situation riverains (entre la porte de Bagnolet et la porte des Lilas, au niveau de la rue Pierre Soulié, dans le 20<sup>e</sup> arrondissement), les deux autres sont situées au niveau du terre-plein central du périphérique (porte d’Auteuil et porte de Vincennes). La comparaison des données mesurées sur une période de 4 mois avant et 4 mois après l’entrée en vigueur de la baisse de la vitesse limite fait apparaître des diminutions des niveaux de bruit assez faibles mais néanmoins significatives : sur la période nocturne (22 h - 6 h), la baisse constatée s’établit en moyenne à -1,2 dB(A) ; sur la période diurne (6 h - 22 h), la diminution est de -0,5 dB(A). Cette différence de gain à la faveur de la période nocturne s’explique par le fait que, la journée, les fréquents embouteillages font que les vitesses de circulation sont souvent inférieures à la vitesse limite, contrairement à la nuit. Selon Bruitparif, ces baisses de -1,2 dB(A) et -0,5 dB(A) correspondent respectivement à ce qui pourrait être obtenu par une réduction de l’ordre de 25 % et 10 % du volume de trafic”.

**Autriche<sup>101</sup>** : “Un passage de 130 km/h à 100 km/h a induit une baisse de la vitesse moyenne de 18 km/h, soit une économie de 13 % sur la consommation de carburant. On ne peut cependant pas transposer directement ces résultats au cas français étant donné notamment les différences de structure de parc de véhicule roulant”.

**Stuttgart<sup>101</sup>** : “La baisse de la vitesse limite réglementaire de 100 km/h à 65 km/h sur 6,5 km d’une section suburbaine de l’autoroute B10 a eu pour effet de diminuer la vitesse moyenne de 25 à 34 km/h et de réduire le trafic de 5 à 10 % (trafic empruntant d’autres itinéraires). La congestion chronique du matin a disparu. Le trafic s’écoule de manière plus fluide, permettant des gains de 50 % sur les émissions de NO<sub>x</sub>”.



### 3.2.3 Zone à Circulation Restreinte (ZCR)



Une zone à circulation restreinte (ZCR)<sup>105</sup> est une zone dans laquelle la circulation des véhicules les plus polluants est restreinte, voire interdite, de manière pérenne, pour lutter contre la pollution atmosphérique, dans une agglomération ou une zone couverte par un plan de protection de l'atmosphère (PPA)<sup>106</sup>. Il s'agit principalement de limiter le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et les particules fines de taille inférieure à 10 micromètres de diamètre (PM<sub>10</sub>), deux polluants notamment émis par le transport routier motorisé. Le PPA doit être adopté, en cours d'élaboration ou en cours de révision<sup>107</sup>.

Les mesures doivent être proportionnées aux enjeux locaux et cohérentes avec les orientations du PPA. L'étude justifiant la création d'une ZCR doit comporter notamment une description de l'état initial de la qualité de l'air sur la zone concernée ainsi qu'une évaluation :

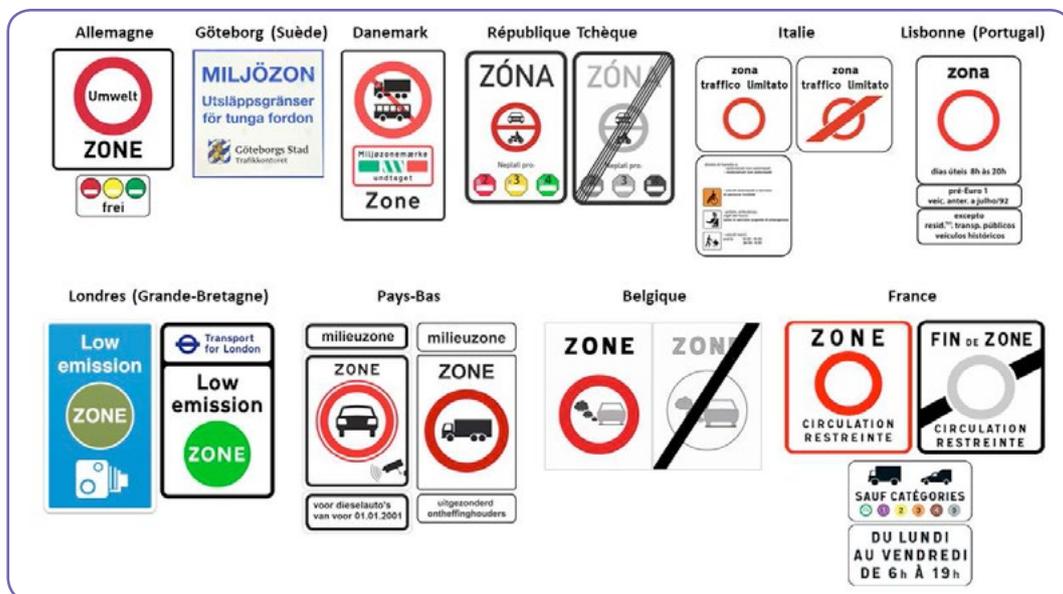
- De la population concernée par les dépassements ou le risque de dépassement des normes de qualité de l'air ;
- Des émissions de polluants atmosphériques dues au transport routier sur la zone concernée ;

- De la proportion de véhicules concernés par les restrictions et, le cas échéant, les dérogations prévues ;

- Des réductions des émissions de polluants atmosphériques attendues par la création de la zone à circulation restreinte.

La loi laisse aux élus la possibilité d'adapter chaque ZCR aux spécificités du territoire et de préciser les éléments suivants par arrêté :

- Le périmètre de la ZCR : sur tout ou partie du territoire ;
- La durée de la ZCR : la loi ne fixe pas de durée minimale ou maximale ;
- Les périodes de restriction de circulation : (ex. jours, heures etc.)<sup>108</sup> ;
- Les catégories de véhicules visées par les restrictions : les catégories de véhicules<sup>109</sup> visées pourront être différentes selon le type de véhicules (ex : interdiction de circuler pour : les poids lourds des catégories 4 à 6, les véhicules utilitaires légers et tous les véhicules particuliers des catégories 6, les deux roues de catégories 5 à 6)<sup>110</sup> ;
- Les éventuelles dérogations individuelles : les modalités seront encadrées par décret.
- Le calendrier de mise en œuvre de la ZCR : la mise en œuvre des restrictions peut se faire de façon progressive.



(Source : Zones à faible émission (low emission zones) à travers l'Europe – ADEME – Mars 2018)

<sup>105</sup> Les ZCR ont été mises en place par le décret n° 2016-847 du 28 juin 2016 relatif aux zones à circulation restreinte pris en application de l'article 48 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte

<sup>106</sup> Liste des communes couvertes par un PPA et les PPA correspondants

<sup>107</sup> Ces éléments sont extraits de la Fiche mémo "Zone à Circulation Restreinte" de l'appel à projets "Villes respirables en 5 ans" – Document rédigé par le MEDDE et l'ADEME – Version du 31/08/2015

<sup>108</sup> À noter qu'une ZCR n'est pas une mesure de restriction mise en œuvre uniquement lors des épisodes de pollution

<sup>109</sup> Les véhicules sont répartis en 6 classes environnementales définies par l'arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318-2 du code de la route. Les véhicules les plus polluants sont non classés et n'ont pas droit au certificat qualité de l'air (dit Crit'Air). La classification dépend du type de véhicule (voitures particulières, deux-roues, tricycles et quadricycles, véhicules utilitaires légers et véhicules lourds dont autobus et autocars), de sa motorisation et de la norme européenne d'émissions polluantes qu'il respecte, dite "norme Euro". Une classe spécifique est réservée aux véhicules électriques "zéro émission moteur"

<sup>110</sup> On notera aussi que la ZCR ne vise pas à interdire un secteur à la circulation (zone piétonne ou cyclable) et n'est pas un dispositif de péage urbain (même si le tarif d'un péage urbain peut être ajusté en fonction de la performance environnementale du véhicule)

En outre, la collectivité peut mettre en œuvre des mesures d'accompagnement.

Tous les trois ans, la ZCR fait l'objet d'une évaluation de son efficacité au regard des bénéfices attendus. Au vu des études de faisabilité réalisées par sept collectivités françaises dans le cadre des expérimentations conduites pour les zones d'actions prioritaires (ZAPA)<sup>111</sup> et des retours d'expérience observés en Europe dans le cadre des "Low Emission Zone"<sup>112</sup>, la réussite de la mise en œuvre d'une telle mesure de restriction de la circulation des véhicules les plus polluants est facilitée lorsque l'action :

- Tient compte des spécificités locales (activités économiques du territoire, population/entreprises et leurs parcs de véhicules, infrastructures et aménagements existants ou à venir...)<sup>113</sup> ;
- Prévoit un temps suffisant pour que les particuliers et les professionnels s'adaptent à la mesure ;
- Bénéficie de mesures d'accompagnement selon un planning clairement établi au moment de l'annonce de sa mise en œuvre (ex : accompagnement financier pour la conversion d'un véhicule polluant ou l'abonnement à une carte de transport en commun ; mise en place d'une plateforme d'information pour aider les particuliers à changer de mode de transport, etc.) ;
- Est partagée au niveau local (collectivité à l'origine du projet et collectivités voisines potentiellement impactées) ;
- Tient compte des modalités de contrôle pour vérifier le respect des mesures mises en œuvre.

En septembre 2017, 227 ZCR (ou LEZ pour "Low Emission Zone") sont recensées à travers 12 pays européens<sup>112</sup> dont 85 % en Allemagne et en Italie. En France, Paris et Grenoble ont instauré ce dispositif depuis 2016. De nombreuses autres collectivités devraient suivre le pas, en particulier les 20 lauréats de l'appel à projet "Villes respirables en 5 ans"<sup>114</sup> qui se sont engagés à créer ou préfigurer une ZCR.

Il ressort de cette étude que l'impact de la mise en place des ZCR sur la qualité de l'air diffère d'une LEZ à une autre mais, selon les cas, des réductions de concentrations dans l'air de NO<sub>2</sub> et

PM<sub>10</sub> jusqu'à 12 % peuvent être observées ainsi que des réductions de PM<sub>2,5</sub> jusqu'à 15 % et de Black Carbon (BC) jusqu'à 52 %. Les impacts sont cependant très variables eu égard aux différences de conditions de mise en œuvre : les secteurs géographiques concernés peuvent ainsi aller d'une petite partie du centre-ville à la totalité d'une agglomération (plus de 1 500 km<sup>2</sup> pour le Grand Londres) ; les véhicules visés peuvent être limités aux poids-lourds et bus/autocars ou intégrer les véhicules légers (2-roues motorisés compris) ; les moyens de surveillance, qui conditionnent en grande partie la réussite, reposent sur un contrôle visuel par la police ou automatique par vidéosurveillance.

**Classement Certificat qualité de l'air Voitures particulières**  
NORME EURO (inscrite sur la carte grise) ou, à défaut, date de 1<sup>re</sup> immatriculation

Tous les véhicules 100% électriques et hydrogènes	
Tous les véhicules gaz et les véhicules hybrides rechargeables	
Essence et autres	Diesel
Euro 5 et 6 À partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2011	
Euro 4 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2006 et le 31 décembre 2010 inclus	Euro 5 et 6 À partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2011
Euro 2 et 3 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 1997 et le 31 décembre 2005 inclus	Euro 4 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2006 et le 31 décembre 2010 inclus
Euro 4 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2001 et le 31 décembre 2005 inclus	Euro 3 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2001 et le 31 décembre 2005 inclus
Euro 5 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 1997 et le 31 décembre 2000 inclus	Euro 2 Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 1997 et le 31 décembre 2000 inclus
Euro 1 et avant	Jusqu'au 31 décembre 1996

Pour obtenir son certificat qualité de l'air [www.certificat-air.gouv.fr](http://www.certificat-air.gouv.fr)

Pour en savoir plus, consultez l'arrêté du 21/05/2017 établissant la nomenclature des véhicules : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000032748723&categorieLien=id>

Globalement, la mise en place de ZCR n'entraînerait pas de réduction de la taille du parc de véhicules ni du trafic routier mais accélère son renouvellement (cf. cas de Berlin et étude du parc néerlandais ci-après).

<sup>111</sup> Synthèse des études de faisabilité réalisées par sept collectivités françaises

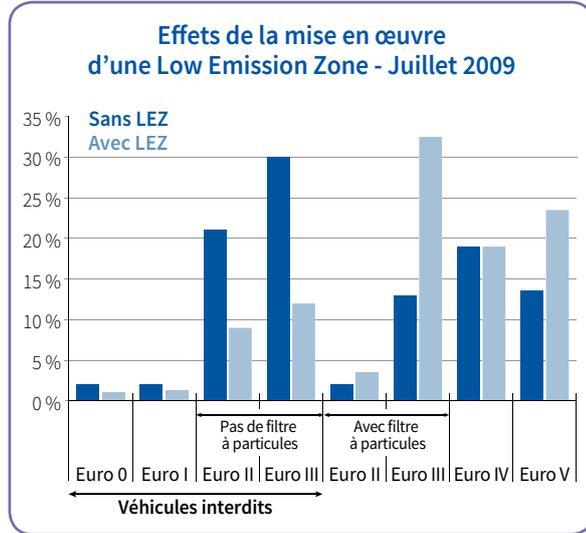
<sup>112</sup> Zones à faibles émissions (Low Emission Zones - LEZ) à travers l'Europe (Les) : Déploiement, retours d'expériences, évaluation d'impacts et efficacité du système. Mise à jour 2017 de l'état de l'art – FORESTIER B, CAPE F – ADEME, RINCENT AIR – 112 pages – Mars 2018

<sup>113</sup> On peut aussi citer sur ce point les résultats de l'étude ZAPARC, menée par l'IFFSTAR en 2013 afin de mieux connaître les parcs automobiles locaux et permettre leur prise en compte dans l'évaluation de mesures de type ZCR. L'étude montre que l'évaluation de l'impact des mesures de restriction est très complexe. Non seulement le parc initial est variable selon les territoires ainsi que son évolution, mais il faut aussi tenir compte de nombreux mécanismes induits tels que la réorganisation du trafic et des mobilités, le contournement de la ZCR, les changements de modes de transport... Les résultats obtenus par ZAPARC montrent qu'une politique pertinente de lutte contre la pollution du trafic routier ne saurait se limiter au seul centre-ville, aux véhicules de particuliers, ou encore à l'heure de pointe, car les autres catégories de véhicules, les territoires périphériques et les périodes en dehors heures de pointe contribuent également à l'émission de certains polluants. Pour plus d'information: Zones à circulation restreinte pour une amélioration de la qualité de l'air – Recueil des résumés des travaux de recherche – PRIMEQUAL : Programme de recherche interorganisme pour une meilleure qualité de l'air – Colloque de valorisation 30 novembre 2016 Strasbourg

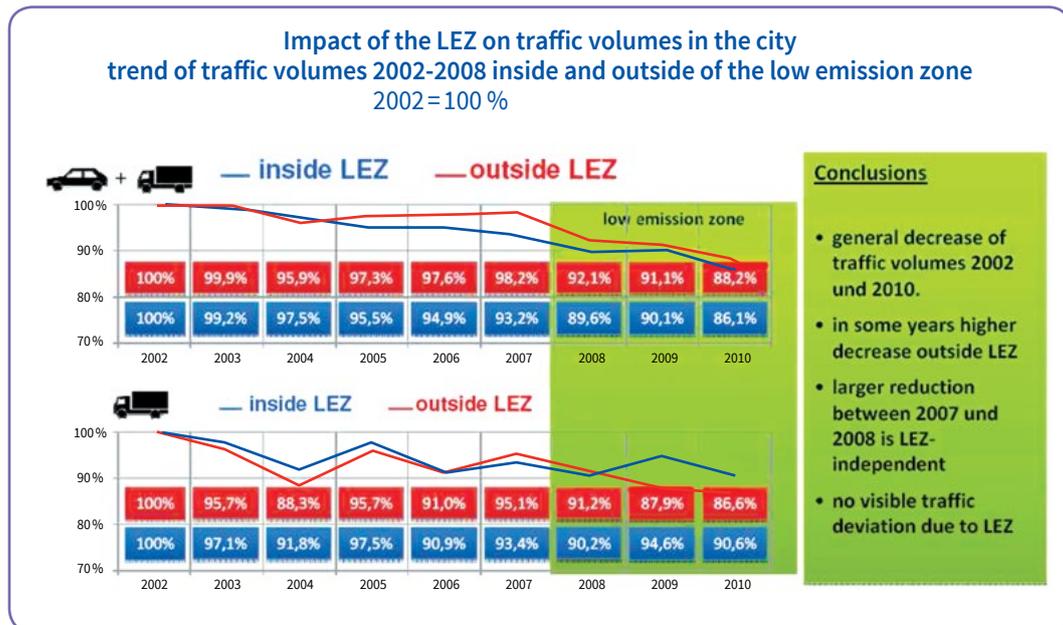
<sup>114</sup> Résultats de l'appel à projets "Villes Respirables en 5 ans" – MEDDE – 2015



Ainsi, les effets à attendre pour la réduction des émissions sonores seraient limités au changement de motorisation induit, en particulier la diffusion plus intense des véhicules électriques et hybrides (on se reportera donc à la fiche action dédiée pour évaluer les impacts des motorisations). On peut cependant penser que les contraintes supplémentaires générées pourraient engager les usagers à un report modal plus important et au recours plus intense aux véhicules partagés (eux-mêmes performants)<sup>115</sup>.



Composition du parc dans et hors des LEZ néerlandaises



Impact de la LEZ de Berlin sur le trafic routier

(Source : Buck Consultants International en Goudappel Coffeng, 2009. Extrait de l'étude des REX européens ADEME/RINCENT AIR.)

<sup>115</sup> Les lauréats de l'appel à projet "Ville respirable en 5 ans" sont ainsi encouragés à assurer un suivi de l'évolution des parts modales de la marche et du vélo

• **Le périmètre géographique concerné**

Il est bien évident que plus le périmètre sera étendu, plus l'impact sera important et ce d'autant plus que les flux de transit auront une difficulté à contourner la zone. En effet la mise en place d'une ZCR pourrait conduire à déplacer une partie des flux de transit vers d'autres secteurs, entraînant de fait un déplacement des émissions de polluants et des nuisances acoustiques (voire une augmentation des consommations d'énergie si les distances parcourues sont globalement allongées). Même si globalement l'impact est positif, de nouveaux points noirs pourraient dès lors être créés. L'étude d'impact, préalable à la mise en place de la ZCR, doit permettre d'évaluer ces risques. Ainsi la ZCR de Paris a exclu le périphérique "afin de ne pas dégrader les conditions de circulation dans les communes riveraines du périphérique par un report incontrôlé de la circulation des véhicules interdits sur le périphérique".

• **Les périodes de restriction de circulation**

Les heures et jours de mise en place intègrent à minima les périodes où la circulation est la plus intense (la ZCR n'a pas vocation à traiter des pics occasionnels de pollution liés en particulier aux conditions météorologiques). La majorité ZCR appliquent des restrictions d'accès permanentes : ainsi à Milan par exemple, la ZCR est permanente 24h/24 pour les autobus et les deux roues, et hivernale pour tous les autres véhicules, du lundi au vendredi et de 7h30 à 19h30.

La définition d'heures d'exclusion peut entraîner un report du trafic durant des périodes où les bruits émergents deviennent plus gênants. Il convient donc d'anticiper ces effets (voir page suivante le retour d'expérience de la ZCR Marchandises mise en place à Grenoble).

• **Les catégories de véhicules visées par les restrictions**

Comme indiqué précédemment, les véhicules autorisés à circuler dans les ZCR sont identifiés via la vignette Crit'Air, basée sur les normes Euro.

Concernant le bruit, les valeurs seuils des émissions sonores des véhicules routiers sont précisées par la directive 2007/34/CE du 14 juin 2007 concernant le niveau sonore admissible des véhicules routiers à 4 roues et plus et leur dispositif d'échappement. Le Parlement européen a adopté le 2 avril 2014 une nouvelle législation relative au bruit des véhicules routiers<sup>116</sup> qui renforce les normes d'émissions sonores des voitures et impose un étiquetage informant du niveau de bruit des véhicules neufs. En 2026, les limites pour les voitures standards passent à 68 dB contre 74 à l'heure actuelle tandis que les véhicules plus puissants bénéficient d'1 à 9 décibels supplémentaires<sup>117</sup>.

L'exclusion des véhicules les plus polluants entraîne donc de fait une exclusion des véhicules les plus bruyants ; les véhicules les moins polluants et bruyants étant ceux dotés d'une motorisation électrique. Les émissions de NO<sub>x</sub> des transports routiers ont par exemple diminué de moitié entre 1990 et 2012 malgré une hausse du trafic de 34 %. Cette baisse est liée à l'équipement progressif des véhicules particuliers en pots catalytiques depuis 1993, à l'application de valeurs limites d'émission de plus en plus contraignantes (normes Euro) et au renouvellement du parc de véhicules.

Le bruit de roulement (et les émissions de particules liées) devenant prédominant par rapport au bruit du moteur au-delà de 50 km/h, il est intéressant lors de la mise en place d'une ZCR de réfléchir à la mise en œuvre conjointe de limitations de vitesse afin de réduire les nuisances sonores, a minima dans les secteurs les plus exposés, et ceci d'autant plus si la ZCR a pour effet de fluidifier le trafic et donc d'accroître les vitesses<sup>118</sup>.

<sup>116</sup> Résolution législative du Parlement européen concernant le niveau sonore des véhicules à moteur et des systèmes de silencieux de remplacement, modifiant la directive 2007/46/EC et abrogeant la directive 70/157/CEE (17695/1/2013 – C7-0060/2014 – 2011/0409(COD))

<sup>117</sup> Extrait du site <http://carlabelling.ADEME.fr/index/contextesenjeux>

<sup>118</sup> L'effet délétère que peut avoir de manière générale la réduction de la vitesse sur les émissions de certains polluants par les moteurs thermiques est très fortement réduit dans le cas d'une ZCR car les motorisations récentes, autorisées dans ces zones, ne présentent qu'une très faible augmentation de ces émissions à faible vitesse



## CAS CONCRET

## LES ZCR ET LES LEZ

**JE SUIS UN PARTICULIER PARIS M'AIDE À CIRCULER PLUS PROPRE**

Je suis Parisien + Je renonce à mon véhicule polluant

1 ou 2 et 3

Je bénéficie d'une aide de **400 €** pour la prise en charge partielle du coût de la nouvelle voiture pendant 1 an + un abonnement d'un an à Vélib'

Le remboursement de l'achat d'un véhicule électrique (VE) ou hybride électrique au tarif de 400 €

Une réduction de **50 €** de l'abonnement annuel au Vélib' + **50 €** de la prime attribuée au propriétaire des Vélib' accessibles à tous.

(Source : [www.paris.fr/stoppollution](http://www.paris.fr/stoppollution))



Périmètre de la ZCR Marchandises de Grenoble (Source : [www.grenoble.fr/1072-zone-a-circulation-restreinte.htm](http://www.grenoble.fr/1072-zone-a-circulation-restreinte.htm))

**Paris (75) :** La première ZCR française a été mise en place le 1<sup>er</sup> septembre 2015 à Paris. Elle concernait initialement uniquement les bus, cars et poids lourds antérieurs au 1<sup>er</sup> octobre 2001, puis elle a été étendue à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2016 à l'ensemble des catégories de véhicules motorisés (VP, VUL, 2R). Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2017, l'interdiction de circulation est conforme à l'article 48 de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Elle est établie pour une durée de 5 ans dans Paris intra-muros. Les poids lourds, autobus et autocars, les véhicules utilitaires légers (VUL) et les véhicules particuliers (VP) de catégorie Crit'Air 5 et sans vignette ainsi que les deux-roues sans vignette, sont interdits de circulation tous les jours de 8h à 20h, exceptés les jours fériés (critère devant se durcir progressivement). La Ville de Paris propose des incitations financières pour aider les parisiens, particuliers et professionnels, à renoncer à leurs véhicules les plus polluants.

**Grenoble (38) :** Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, la ville de Grenoble expérimente le concept de "ZCR Marchandises", qui restreint la circulation des véhicules utilitaires légers et des poids-lourds sans vignette dans une partie de la ville, du lundi au vendredi, de 6 h à 19 h. Extrait du site internet [www.grenoble.fr](http://www.grenoble.fr) : "D'ici 2020, les véhicules les plus polluants vont être progressivement interdits à la circulation afin d'assurer une diminution significative de la pollution. L'évolution du dispositif se fera en plusieurs étapes avec une interdiction progressive des catégories de véhicules les plus polluants."



**Londres (UK) :** La Low Emission Zone (LEZ) de Londres a été lancée le 4 février 2008. La mise en œuvre a été programmée en plusieurs phases : concernant initialement uniquement les poids-lourds de plus de 12t, elle s'applique aujourd'hui à tous les camions de plus de 3,5t, les autobus et les autocars de plus de 5t qui doivent répondre à la norme Euro IV pour les PM (et Euro IV pour les NO<sub>x</sub> pour les bus). La Low Emission Zone couvre une superficie d'environ 1 600 km<sup>2</sup> (une grande partie du Grand Londres) qui abrite environ 7 millions d'habitants.



À noter que l'exclusion n'est pas absolue car les véhicules "hors normes" peuvent accéder à la zone en s'acquittant d'une taxe journalière comprise entre 100 et 200 £ selon le type de véhicule. En parallèle et complément à cette LEZ, le centre de Londres est doté d'un péage urbain, auquel s'ajoute depuis peu une taxe de 10£ (T-Charge) due par les automobilistes dont les véhicules ne répondent pas aux normes Euro 4 pour les émissions de PM et de NO<sub>x</sub>. À partir de 2020 ce même secteur central sera couvert par une UltraLEZ qui aura vocation à s'étendre progressivement à tout le grand Londres. Transport for London (TfL) utilise un mécanisme de surveillance par caméra (numéro minéralogique enregistré dans une base possédant les caractéristiques du véhicule) pour faire appliquer tous ces dispositifs : LEZ, péage urbain et T-Charge. Le montant élevé des amendes, compris entre 500 et 1000 £, étant dissuasif, 97 à 98 % des véhicules respectent les règles de la LEZ.

CAS CONCRET

## MESURES SIMULTANÉES AIR/BRUIT POUR ÉVALUER L'IMPACT DE LA CIRCULATION ALTERNÉE SUR LA MÉTROPOLE DE LYON



Équipements de mesure simultanée de la qualité de l'air et des niveaux acoustiques – De gauche à droite : Feyzin, le long de l'A7, Tunnel Croix Rousse, école Michel Servet, Rive de Giers, le long de l'A47 (Source : Acoucité)

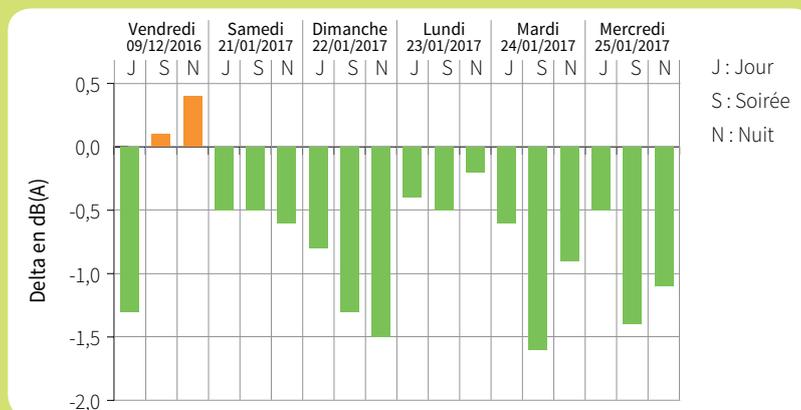
La métropole de Lyon a connu un épisode de forte pollution aux particules fines les 23 et 24 janvier 2017 qui a conduit la préfecture du Rhône à mettre en place une double restriction sur la circulation :

- Abaissement de 20 km/h de toutes les vitesses autorisées à 90 km/h et plus ;
- Mise en place, dans les conditions prévues par l'arrêté préfectoral du 12 décembre 2016, de la **circulation alternée** à Lyon et Villeurbanne à compter du lundi 23 janvier 2017 à partir de 5 heures du matin.

Ainsi, seuls pouvaient circuler les véhicules dont la plaque d'immatriculation est impaire ou s'ils affichent une vignette CRIT'Air verte, CRIT'Air 1, 2, ou 3 (seuil d'alerte D2)<sup>119</sup>.

Les mesures de qualité de l'air et de niveaux sonores réalisées durant cet épisode permettent d'évaluer l'impact de la mise en œuvre de ce dispositif sur la double exposition air/bruit de la population.

Les effets sur la circulation sont relativement modestes puisque l'interdiction ne s'appliquait finalement qu'à moins de 15 % des véhicules compte tenu des dérogations et que certains automobilistes ne l'ont de plus pas respectée. Ce sont cependant les véhicules les plus polluants dont la circulation a été la plus réduite. Globalement une baisse de trafic de 3 à 5 % a été constatée mais l'effet sur la congestion est plus important avec une réduction des embouteillages de 13 à 15 %. Les mesures montrent une réduction globale des niveaux sonores de 0,5 à 1,5 dB en journée et soirée, mais une légère augmentation la nuit, semblant mettre en évidence une anticipation des transports avant l'interdiction de circulation qui débutait à 5 heures.



Exemple de mesures des niveaux sonores cours Gambetta à Lyon (journée du 9/12/16 et période du 21 au 25/01/17)

(Source : Acoucité)

<sup>119</sup> Théoriquement, avec la restriction de circulation basée sur les certificats et donc sur l'ancienneté des véhicules, il est possible d'obtenir une baisse des taux de pollution assez proche de celle de la circulation alternée, en contraignant deux fois moins de véhicules (et donc d'automobilistes) (Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes)





D'après Atmo Auvergne-Rhône-Alpes<sup>120</sup>, la circulation alternée appliquée en décembre 2016 (le 9/12/16 l'application de la circulation a été décrétée mais sans le système CRIT'Air qui s'applique depuis janvier 2017) a permis de diminuer significativement les émissions de particules et d'oxydes d'azote dues au trafic routier, de l'ordre de -20 % dans le centre de l'agglomération lyonnaise. Avec la circulation différenciée sur la base des certificats de qualité de l'air, la diminution a été de l'ordre de -6 à 9 % selon les polluants. L'impact sur les niveaux d'exposition globaux, liés à la pollution de fond, n'est pas sensible compte tenu de la zone limitée sur laquelle s'appliquent les restrictions. Elle est cependant sensible à proximité des principaux axes de circulation du centre-ville<sup>121</sup>.

	Circulation alternée Lyon/Villeurbanne 09/12/2016		Circulation alternée et différenciée Lyon/Villeurbanne 24/01/2017	
	THÉORIQUE	CONSTATÉ	THÉORIQUE	CONSTATÉ
Évolution trafic	-50 %	-20 %	-11 %	-11 %
Évolution émissions PM <sub>10</sub> transports	-49 %	-21 %	-17 %	-6 %
Évolution émissions NO <sub>x</sub> transports	-45 %	-23 %	-17 %	-7 %

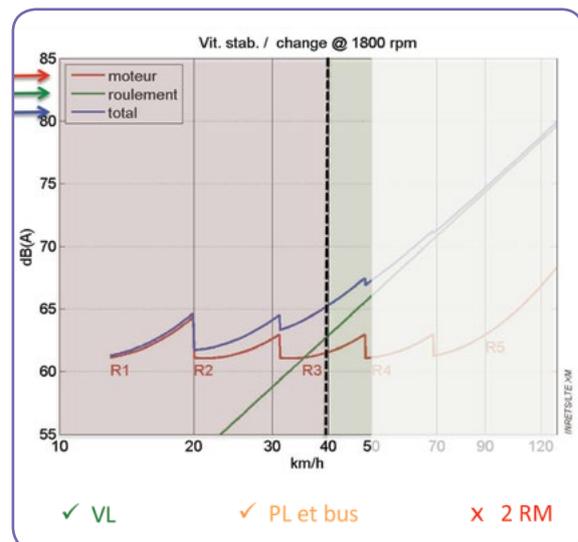
Effets de la circulation alternée sur les émissions de NO<sub>x</sub> et PM<sub>10</sub>  
(Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes)

### 3.2.4 Ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)



La recherche d'un plus grand niveau de service<sup>122</sup> repose sur deux éléments principaux : la priorité aux intersections et la réduction du nombre d'arrêts, qui ont toutes deux un impact positif sur la vitesse moyenne des bus. En site propre<sup>123</sup>, le BHNS atteint une vitesse moyenne de 22 km/h, alors qu'un bus roulant dans la circulation plafonne à 17 km/h. Si les arrêts sont moins nombreux, l'objectif de vitesse moyenne de circulation sur l'itinéraire peut être atteint à des vitesses inférieures, avec des phases d'accélération moins nombreuses et une puissance nécessaire inférieure. Cet ensemble de conditions induit une consommation de carburant plus faible, de moindres émissions de polluants atmosphériques et un moindre impact sonore. Toutefois, si l'itinéraire emprunte des zones sensibles au bruit, la distance interstations, qui influe directement sur les vitesses de pointe des bus, doit faire l'objet d'un effort d'optimisation : d'après le Cerema<sup>124</sup> lorsque cette distance excède 400 m, le bus peut aisément atteindre une vitesse de pointe de 50 km/h, vitesse à laquelle les bus commencent à avoir un impact sonore non négligeable,

et ce même s'ils sont à propulsion électrique. De fait, à partir de cette vitesse, le bruit du contact pneu-chaussée prédomine, si bien que la différence d'impact sonore entre un véhicule électrique et un véhicule à propulsion thermique est négligeable (à 40 km/h, 1 dB(A) d'écart seulement).



Émissions sonores du roulement et du moteur en fonction de la vitesse pour des véhicules légers, poids lourds et bus. (Source : IFSTTAR<sup>125</sup>)

<sup>120</sup> L'amélioration de la qualité de l'air en Auvergne - Rhône-Alpes se confirme — Atmo Auvergne - Rhône-Alpes — 2016

<sup>121</sup> De -3 à -10 µg/m<sup>3</sup> selon l'axe routier, le polluant et l'agglomération considérés. La baisse est plus marquée pour le dioxyde d'azote, qui se concentre près des voiries car il est majoritairement émis par les transports routiers (Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes)

<sup>122</sup> Bus à Haut Niveau de Service : priorité accordée aux bus dans la circulation, véhicules de qualité supérieure, confort des arrêts amélioré, information des voyageurs plus complète, achat de tickets intégré, etc.

<sup>123</sup> Un transport en commun en site propre emprunte un espace qui lui est réservé, de telle manière que ce mode de transport dispose de sa propre voie

<sup>124</sup> Cerema - Bus à Haut Niveau de Service — Caractéristiques fondamentales et recommandations pour la prise de décision et la recherche — Résultats issus de 35 villes européennes

<sup>125</sup> Comportement et enjeux environnementaux des poids-lourds de livraison urbaine à motorisation hybride électrique — IFSTTAR — 2014

C'est alors le paramètre "pollution de l'air" qui s'avère le plus influent. Une sensibilisation des conducteurs de bus à la conduite "écologique" peut avoir un effet non négligeable sur la consommation,

les émissions polluantes et le bruit. Par ailleurs, si une cohabitation avec les vélos est souhaitée, il faudra également modérer les vitesses de pointe.

#### • Distance interstations

L'effet de la distance interstations sur la vitesse moyenne est très net : en faisant passer cette distance de 200 à 800 m<sup>124</sup>, la vitesse moyenne passe de 15 à 25 km/h. Cependant augmenter la distance interstation peut dissuader les usagers potentiels des transports en communs.

### ENJEU

#### PARAMÈTRE INFLUENT : DISTANCE INTERSTATIONS



+ Les distances entre stations plus élevées, conjuguées au nombre réduit d'arrêts aux carrefours, réduisent le nombre d'accélération et de freinages, ce qui **diminue globalement les nuisances sonores**.

! À 50 km/h et au-delà, un bus, quel que soit son mode de propulsion, n'est pas neutre en termes de nuisances sonores<sup>125</sup>. Les vitesses de pointe sont donc à surveiller.



+ De même que pour le bruit, la diminution du nombre d'accélération et de freinages implique généralement une baisse des oxydes d'azote et des particules le long du trajet d'un BHNS.



+ La végétalisation des arrêts de bus BHNS peut participer à la régulation de la température et à la réduction des ICU.



+ Diminution des coûts d'exploitation et de la consommation énergétique<sup>126</sup> :  
• Sur la ligne Trans-Val-de-Marne (TVM, Paris), une économie de carburant de 6 % a été constatée suite à l'ouverture de l'extension ouest (site propre en totalité, avec priorité aux feux).

#### • Conduite "écologique"

Le concept de conduite "écologique" ou "éco-conduite" a pour objectif de réduire la consommation énergétique. Éviter les coups de frein, rendre les accélérations aussi douces que possible, adopter une conduite souple et économique, permet du même coup de réduire les émissions polluantes et sonores. Sur un même parcours, la consommation peut varier de 40% selon le conducteur. S'il est donc nécessaire de sensibiliser les conducteurs à l'importance de la conduite "écologique", la qualité de conception de la voie réservée (planéité, linéarité, absence de virages serrés, visibilité aux carrefours, contraste) joue aussi un rôle essentiel.

### ENJEU

#### PARAMÈTRE INFLUENT : COMPORTEMENT DE CONDUITE



+ Le mode de conduite (% de demande d'accélération) joue un rôle primordial sur les nuisances sonores émises. La figure de la page précédente montre qu'en ville, les émissions sonores les plus élevées (part imputable au moteur, hors véhicules électriques) correspondent aux deux premiers rapports de vitesse.

<sup>126</sup> Guide de Formation à l'éco-conduite – Enjeux, témoignages, méthodes – ADEME / Groupe La Poste – Décembre 2009





! Lors d'un démarrage effectué avec la pédale enfoncée à 100 %, un bus hybride fait légèrement plus de bruit qu'un bus diesel (voir ci-dessous paragraphe Type de motorisation).



+ Moins d'accélération et de freinages : baisse des oxydes d'azote et des particules (sauf remise en suspension au passage des véhicules).



+ Une conduite agressive peut entraîner une augmentation de la consommation de 5 à 40 %. Selon l'ADEME, la formation à l'éco-conduite au sein de l'activité Courrier du groupe La Poste aura permis une **réduction de 5 % des émissions de CO<sub>2</sub> et de la consommation de carburant.**

### • Type de motorisation

Peu de données indépendantes sont disponibles concernant les émissions sonores des bus électriques ou hybrides. La motorisation hybride électrique/diesel permet de solliciter un peu moins le moteur à chaque accélération : par rapport à un bus diesel ordinaire, cela réduit les émissions de NO<sub>x</sub> et le bruit. Autre avantage, le moteur est coupé à l'arrêt. Le gain acoustique des véhicules électriques ou hybrides vaut pour les vitesses inférieures à 40 km/h : on voit la cohérence d'une ligne BHNS à motorisation électrique qui traverserait une zone 30. Quant au GNV, il réduit le bruit de 3 dB(A) par rapport aux motorisations diesel.

## ENJEU

### PARAMÈTRE INFLUENT : MOTORISATION



#### Hybride

En dehors des phases électriques (qui sont silencieuses), les poids-lourds hybrides sont moins bruyants que le diesel :

Vitesse stabilisée (véhicule testé : camion et non pas bus <sup>127</sup> )	20 km/h	30 km/h	50 km/h
Bruit au passage (LA <sub>max</sub> ) : comparaison Hybride diesel / Diesel	↓ 1,0 dB(A)	↓ 2,7 dB(A)	↓ 1,6 dB(A)



! Le pourcentage de demande d'accélération conditionne de façon importante le redémarrage du moteur thermique, et donc le bruit émis<sup>128</sup> :



Phase de démarrage	% de demande d'accélération	+ 65% (mode électrique)	- 100% (mode thermique)
Bruit au passage (LA <sub>max</sub> ) : comparaison Hybride / Diesel		↓ 6 dB(A)	↑ 2 dB(A)



#### Électrique

Vitesse stabilisée	Démarrage	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Bruit au passage <sup>129</sup> (LA <sub>max</sub> ) : comparaison Électrique / Hybride diesel	↓ 6 dB(A)	↓ 8 dB(A)	↓ 5 dB(A)	↓ 6 dB(A)	0 dB(A)



#### GNV

Mesure sur des autobus urbains	Vitesse
Bruit au passage (LA <sub>max</sub> ) <sup>130</sup> : comparaison GNV / Diesel	↓ 3 dB(A)

<sup>127</sup> Comportement et enjeux environnementaux des poids-lourds de livraison urbaine à motorisation hybride électrique – IFSTTAR – 2014

<sup>128</sup> Amélioration du bruit extérieur des autobus apportée par hybridation de la chaîne cinématique – Laurent Bléandou (IVECO) – 2014

<sup>129</sup> Electric buses and noise – Volvo – 2016

<sup>130</sup> Aide à la décision pour le renouvellement des flottes de véhicules des entreprises et des collectivités - Fiches de synthèse et recommandations par filière DREAL PACA/ADEME – 2013



### Hybride

Émissions gazeuses (NO<sub>x</sub>, hydrocarbures) en baisse par rapport au diesel.



### Électrique

Pas d'émissions polluantes locales (ni hydrocarbures, ni fumées, ni particules).



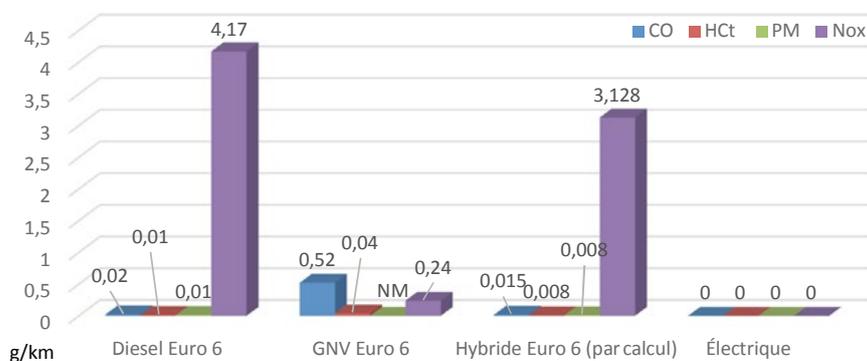
L'abrasion des routes, des pneus et le freinage sont sources de particules fines qui sont remises en suspension au passage des véhicules, quel que soit leur type. On estime que 41 % des émissions de PM<sub>10</sub> dues aux transports proviennent de ce phénomène (données 2012 pour l'Île de France<sup>131</sup>).



### GNV

Ni soufre, ni plomb, ni poussières ou particules, très peu de NO<sub>x</sub> et de CO. Benzène et formaldéhyde également peu présents.

### Quelques émissions par type de filières suivant la norme EURO 6<sup>132</sup> :



**Facteurs d'émissions**  
(CO = Monoxyde de carbone, HCT = hydrocarbures, PM = particules, NO<sub>x</sub> = Oxydes d'Azote)  
**par filière sur cycle ADEME / RATP** (Ces données ne prennent pas en compte le phénomène de remise en suspension des particules au passage des véhicules).



**Hybride** : ↓ 25 tonnes de CO<sub>2</sub> par véhicule et par an par comparaison au diesel<sup>133</sup>.



**Électrique** : émissions de CO<sub>2</sub> fonction de la source d'énergie utilisée pour la production d'électricité.



**Biogaz** : ↓ de 75 % des missions totales de CO<sub>2</sub> (amont et combustion) par rapport au GNV.



**Hydrogène** : Électrolyse sur site (à partir d'électricité renouvelable, donc sans transport) : seul scénario favorable au véhicule à hydrogène en ce qui concerne l'indicateur "réchauffement climatique"<sup>133</sup>.

<sup>131</sup> Inventaire régional des émissions en Île-de-France – AirParif – Année de référence 2012

<sup>132</sup> Étude comparative sur les différentes motorisations de bus – Centrale d'achat du transport public – Septembre 2017

<sup>133</sup> Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains – ADEME – Août 2015



## CAS CONCRET

LES BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE (BHNS)  
SE DÉVELOPPENT

© Ville de Pau

**Pau (64) :** La Ville de Pau a développé un projet de BHNS motorisé à l'hydrogène<sup>134</sup>. Seule la vapeur d'eau est rejetée, l'hydrogène peut provenir de sources renouvelables. Il faut néanmoins privilégier la production d'hydrogène locale pour réduire le transport du gaz (donc électrolyse sur site) et augmenter la durée de vie du véhicule et des équipements afin de rentabiliser la production de la pile à combustible.

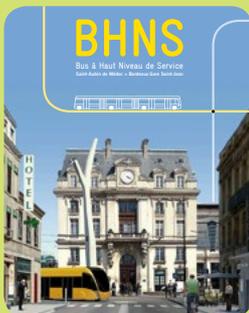


© Amiens Métropole

**Amiens Métropole (80) :** Dans le cadre du projet global "Dessine-moi ma ville !", des lignes de BHNS en site propre vont être créées<sup>135</sup>. Les trois lignes principales de bus seront électriques pour répondre aux exigences de santé et de qualité environnementale. Un système de recharge rapide des batteries sera mis en place à chaque terminus pendant 5 minutes avant le départ des bus.

À noter aussi la création de parkings relais.

Un accent a été mis sur l'information et la concertation des habitants concernant les transformations futures et les nouvelles modalités de déplacements en bus, à pied ou à vélo (via un bus sillonnant la ville et des groupes de réflexion d'étudiants de l'école supérieure d'art et de design d'Amiens). Enfin, les stations du nouveau réseau de bus seront largement végétalisées, avec une gestion "zéro phyto" des espaces verts.



© Bordeaux Métropole

**Bordeaux Métropole (33) :** Pour le projet du BHNS Bordeaux Gare Saint-Jean - Saint-Aubin-de-Médoc (21 km de ligne)<sup>136</sup>, le report modal de la voiture vers le BHNS est estimé à plus de 13 000 voyages par jour, entraînant une baisse de 10 000 déplacements voitures par jour (base de 1,3 personne par voiture). D'après le Cerema<sup>137</sup>, la mise en place d'un BHNS induit un taux de transfert modal élevé (de 5 à 30 %) de la voiture au bus. L'augmentation du bruit sur les voies adjacentes de la ligne de BHNS n'est pas négligeable : il a été évalué à 5,1 dB rue Georges Bonnac et 5,5 dB rue Saint-Sernin. Un collectif de riverains a fait stopper en octobre 2017 la construction de la ligne, invoquant des nuisances sur le quartier et un projet non justifié. Le collectif réclame l'achat de bus "100 % silencieux pour supprimer toute nuisance sonore et pollution locale", "de nouvelles places de stationnement pour les résidents" et "un plan de circulation établi avec les riverains". Bordeaux Métropole s'est pourvue en cassation.



© Ville d'Aix-en-Provence

**Aix-en-Provence (13) :** Le projet d'autobus électrique traversant la ville a été l'occasion d'une campagne de mesures aux enseignements importants sur la qualité de l'air et le confort sonore des aixois<sup>138</sup>.

Le partenariat Pays d'Aix/Air PACA/ Acoucity permet aussi d'alimenter efficacement les concertations préalables aux projets urbains. Selon Céline Sales, la chef de service Écologie Urbaine du Pays d'Aix, "le code de bonne conduite des chauffeurs, l'approche à vitesse lente des autocars, pourtant nombreux, et la disparition des véhicules légers, devraient donner de réels résultats sur la qualité de l'air et le bruit". [Voir cas concret ci-après]

<sup>134</sup> Fébus : notre Bus à Haut Niveau de Service — Dossier de presse du 28 février 2018

<sup>135</sup> Journal du projet n°4 — Amiens Métropole — Mars 2018

<sup>136</sup> Plaquette de présentation — BHNS Bordeaux Gare Saint-Jean — Saint-Aubin-de-Médoc — Avril 2017

<sup>137</sup> Cerema — Bus à Haut Niveau de Service — Caractéristiques fondamentales et recommandations pour la prise de décision et la recherche — Résultats issus de 35 villes européennes — 2011

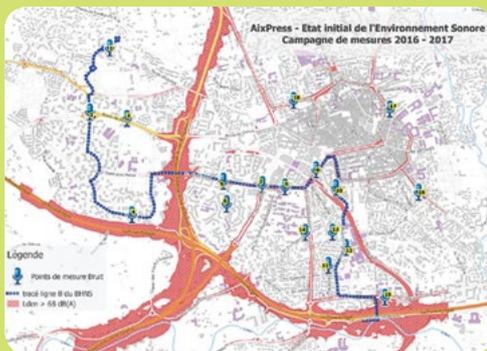
<sup>138</sup> Aix : un Bus à Haut Niveau de Service d'information sur la qualité de l'air — Air PACA — Juin 2017



**Namur (Belgique) :** À Namur, 11 autobus hybrides “zéro émissions” circulent sur le réseau urbain exploité par l’entreprise TEC<sup>139</sup>. Ce nouveau type de véhicule hybride a la capacité de basculer en mode 100 % électrique dans les zones “cœurs de ville” pour une courte distance (4 à 5 km). Le passage en mode électrique est géré par l’ordinateur de bord sur la base de la localisation GPS et de l’autonomie des batteries.

## CAS CONCRET

### AIX-MARSEILLE PROVENCE : SUIVI ENVIRONNEMENTAL AIR ET BRUIT DU PROJET DE CRÉATION DE LA LIGNE DE BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE “AIXPRESS”



État initial des concentrations en NO<sub>2</sub>  
(campagne de mesure 2016, tracé du futur BHNS en bleu)



État initial de l'environnement sonore  
(campagne de mesures 2016, tracé du futur BHNS en bleu)

#### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- Analyse croisée des données relatives à la qualité de l’air et à la qualité de l’environnement sonore, à travers des campagnes de mesure avant/après.

#### OBJECTIFS

- Suivi de l’incidence de la création de AixPress, la première ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) d’Aix-en-Provence, sur l’environnement sonore et sur la qualité de l’air.
- La campagne sera reconduite en 2020 après mise en service de l’infrastructure, et éventuellement une seconde fois en 2022, afin d’appréhender l’incidence des reports de trafic vers la ligne AixPress.

#### CONTEXTE

- Le Pays d’Aix (36 communes, intégré depuis janvier 2017 au sein de la Métropole Aix-Marseille Provence), mène depuis 2002 une politique volontariste de lutte contre les nuisances sonores. Relais des habitants et des communes auprès des gestionnaires de voies sur les questions de bruit, la Communauté du Pays d’Aix (CPA) comptait en 2008 parmi les premières agglomérations à valider ses cartes stratégiques de bruit puis son Plan de Prévention du Bruit dans l’Environnement.

<sup>139</sup> Le Groupe TEC inaugure 11 premiers bus hybrides – Communiqué de presse du 13 janvier 2017





En 2011, la CPA créait un Observatoire de l'Environnement Sonore, en réponse à un appel à manifestation d'intérêt lancé par le Ministère de l'Environnement et par l'ADEME, avec l'appui de trois partenaires : ACOUCITÉ (Pôle de compétences et de recherche sur l'environnement sonore urbain et Observatoire du bruit du Grand Lyon) ; Air PACA (Observatoire régional de la qualité de l'air) et le CPIE du Pays d'Aix (association impliquée dans le développement durable des territoires, au service d'une gestion humaniste de l'environnement).

- Pour répondre au mieux aux sollicitations des différents acteurs du bruit et de la population, le Service Écologie Urbaine du Pays d'Aix en relation avec ses partenaires, intervient suivant plusieurs orientations :
  - il met en place et complète les outils métrologiques nécessaires à une bonne connaissance du territoire (réseau permanent de mesure du bruit, campagnes mobiles...);
  - il améliore l'agrégation des informations, par la modélisation;
  - il développe des initiatives en vue de mieux comprendre la perception du bruit par les habitants;
  - il fournit une information complète aux différents publics, ainsi que des outils de suivi environnemental et d'aide à la décision;
  - il initie et suit des partenariats avec les gestionnaires d'infrastructures et les communes afin de résorber les secteurs sensibles et préserver les zones calmes.
- Les données bruit obtenues sont mises en perspective avec les données de qualité de l'air et font l'objet d'une analyse croisée.
- Le tracé de l'AixPress compte 19 stations (espacées de 350 m en moyenne) et s'étend sur 7,2 km. Il relie les quartiers périphériques Est de la ville à ceux du Sud-Ouest en desservant la gare routière, l'hypercentre, les facultés et deux parkings relais. Le chantier a débuté au second semestre 2017 et s'achèvera fin 2019.

#### RÉALISATIONS

- Mesures de suivi environnemental réalisées en complément des études d'impacts : vaste campagne de mesures air (21 points) et bruit (18 points), afin d'obtenir un état de référence et identifier des points de vigilance.
- Des lieux d'intérêt à proximité ou à distance de la voie ont été retenus. Ils sont en lien avec la quantité de trafic, les aménagements de voirie prévus, l'exposition potentielle des populations, (lieux sensibles, lieux densément peuplés...). Deux crèches, en proximité d'avenues circulées, ont également fait l'objet de mesures en air intérieur).

#### RÉSULTATS

- Pour le dioxyde d'azote (traceur de la pollution routière), la valeur limite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ) est dépassée sur les grands axes et les pénétrantes d'Aix, mais également sur les boulevards urbains du centre-ville. Dans l'environnement de ces voiries à fort trafic, les teneurs en dioxyde d'azote décroissent jusqu'à atteindre le niveau ambiant des quartiers. Dans le cadre des points échantillonnés pour ce projet, les teneurs des sites urbains variaient de 29 à  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En air intérieur, dans les salles des crèches échantillonnées, les concentrations de





dioxyde d'azote sont légèrement inférieures, voire égales au seuil de la valeur guide (20 µg/m<sup>3</sup>).

- Les niveaux de bruit relevés ont confirmé et affiné les résultats de la cartographie du bruit : environnement sonore très dégradé le long des grands axes de circulation, que ce soit à proximité ou à distance du projet. La création de l'infrastructure ne devrait pas contribuer à aggraver significativement l'environnement sonore sur les points concernés par d'éventuels reports de trafic. Par les aménagements prévus contribuant à restreindre la circulation VL, la nouvelle infrastructure pourrait par ailleurs avoir des incidences favorables sur l'ambiance sonore à proximité du tracé. À contrario, il convient d'être vigilant sur plusieurs points : certaines voies pourraient être vulnérables à d'éventuelles augmentations de trafic VL ou TC. Il s'agit de secteurs pour lesquels la qualité de l'environnement sonore est aujourd'hui peu dégradée ou pour lesquels il existe des enjeux particuliers (stationnement, circulation et régulation des TC sur la gare routière...).
- À l'instar du suivi engagé dans le cadre du projet AixPress, l'Observatoire de l'Environnement Sonore du Pays d'Aix a permis au grand public, ainsi qu'aux techniciens et décideurs d'accéder à une meilleure connaissance des conditions environnementales Air/Bruit du territoire et de leurs évolutions dans le cadre de grands projets.

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

- Réalisation de mesures intermédiaires pour prendre en considération l'incidence du chantier sur des secteurs sensibles : Les résultats obtenus sur les deux premiers points de mesure montrent que le bruit des engins affecte fortement certaines journées. Cependant, grâce à la modification des conditions de circulation (suppression de voies, modification des itinéraires), le trafic automobile a fortement diminué y compris en dehors des périodes de travaux. Ces dispositions ont permis d'enregistrer un abaissement des niveaux sonores de 4 à 10 décibels, notamment sur les périodes de soirée, de nuit et de week-end, sur des axes dont l'environnement sonore était auparavant dégradé. En dépit des désagréments occasionnés par le chantier, une amélioration sensible pour les riverains est donc constatée.
- Accompagnement du Maître d'ouvrage dans ses missions de communication et de concertation auprès de la population et pour l'étude de solutions techniques visant à améliorer le confort acoustique dans l'espace urbain.

#### CALENDRIER ET BUDGET

- 2016 – 2017 : Campagnes de mesures "avant". Production de l'état de référence air/bruit. Budget : 64 000 € (subventions Air PACA et Acoucity)
- Fin 2017 : Lancement du chantier
- 2018 - 2019 : Incidence des travaux sur l'environnement sonore et la qualité de l'air
- Fin 2019 : Mise en service
- 2020 : Campagnes de mesures "après". Production de l'état final air/bruit et mise en perspective des résultats. Budget : 64 000 € (subventions Air PACA et Acoucity)
- 2022 : Campagnes de mesures à distance de la mise en service. Budget : 64 000 € (subventions Air PACA et Acoucity)





### CONTACT

- Céline Sales – Chef du service Écologie Urbaine Communauté du Pays d’Aix - Métropole Aix-Marseille Provence  
celine.sales@ampmetropole.fr

### POUR ALLER PLUS LOIN

- [www.agglo-paysdaix.fr/environnement/air-bruit/bruit.html](http://www.agglo-paysdaix.fr/environnement/air-bruit/bruit.html)

### RECOMMANDATIONS

- 3.2.4. Mise en place d’une ligne de Bus à Haut Niveau de Service

### CAS CONCRET

- Mesures simultanées air/bruit pour évaluer l’impact de la circulation alternée sur la Métropole de Lyon

### 3.2.5 Les véhicules légers à motorisations électrique et hybride

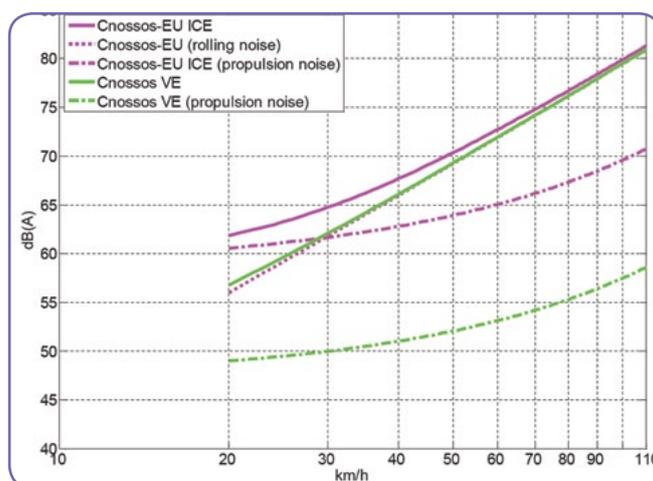


#### • Véhicules 100 % électriques légers

Le véhicule électrique (VE) léger est de 4 à 5 dB(A) moins bruyant que son homologue à propulsion thermique, mais ce gain vaut pour les vitesses peu élevées, inférieures à 50 km/h. À partir de 30 km/h environ, le gain acoustique commence à ne plus être significatif, car le bruit du contact pneu-chaussée devient prédominant. Par conséquent, hors agglomération, le gain acoustique de la motorisation électrique n’est notable que dans les zones où la vitesse est limitée à 30 km/h ou en situation de congestion.

La réduction des émissions polluantes est significative : en 2030, les émissions à l’échappement de polluants atmosphériques des véhicules légers en France pourraient être réduites de 72 % pour le NO<sub>x</sub> et de 92 % pour les particules fines PM<sub>10</sub> (hypothèse parc de 4,4 millions de VE en 2030)<sup>140</sup>. En revanche, une baisse significative du bruit nécessiterait un parc de véhicules majoritairement silencieux<sup>141</sup> (au moins 50 % du parc, voir tableau ci-contre).

De plus, à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2019, pour prévenir d’éventuels accidents, tous les véhicules électriques et hybrides devront émettre automatiquement un son d’avertissement, de zéro à 20 km/h environ.



Niveau de bruit max. à 7,5 m (modèle CROSSOS-EU et modèle proposé pour les VE à vitesse constante)<sup>141</sup>

	Si gain de -5 dB(A) par véhicule électrique
25 % de véhicules électriques	- 0,8 dB(A)
50 % de véhicules électriques	- 1,8 dB(A)

Gain acoustique par rapport à référence 100 % de véhicules thermiques<sup>141</sup>

<sup>140</sup> En route pour un transport durable – Résumé en français du rapport technique "Fuelling France's Future" – Cambridge Economics – Novembre 2015  
<sup>141</sup> Les véhicules électriques et hybrides : quels enjeux acoustiques ? Marie-Agnès Pallas, IFSTTAR, AME, LAE – Université de Lyon, CeLya

ENJEU

PARAMÈTRE INFLUENT : MOTORISATION 100 % ÉLECTRIQUE (VÉHICULES LÉGERS)



- + Gain significatif jusqu'à 30 km/h : bonne synergie avec le concept de zone calme. À vitesse constante, en mode électrique, le bruit au passage (à 7,5 m) d'un véhicule 100 % électrique léger est donné par la loi suivante (où v est la vitesse en km/h dans l'intervalle [17-45] km/h) :

$$LA_{max}(v) = 70,1 + 35,0 \log(v/70) \text{ en dB(A)}$$

Vitesse stabilisée en km/h	20	30	40	50	70
Bruit au passage ( $LA_{max}$ à 7,5m) : comparaison Électrique / Diesel <sup>142</sup>	- 5,1	- 2,7	- 1,6	- 1,0	- 0,6

Les augmentations de bruit les plus significatives se produisent lors d'une forte accélération ou au freinage (système de récupération de l'énergie cinétique).



- + Absence d'émissions de polluants à l'échappement (NO<sub>x</sub> et PM)
- + Abrasion des freins et des pneus, remise en suspension des particules non supprimée.



- + Globalement un véhicule électrique sur l'ensemble de son cycle de vie contribue 2 fois moins qu'un véhicule thermique au potentiel de réchauffement climatique<sup>142</sup>.
- + Sur l'ensemble de son cycle de vie : VE : 9t CO<sub>2</sub>-eq ; Véhicule thermique : 22 t CO<sub>2</sub>-eq<sup>143</sup>.
- + Concernant l'électricité produite pour rouler, un mix électrique décarboné ou, mieux, reposant largement sur les énergies renouvelables, permettrait de réduire l'impact environnemental de la voiture électrique<sup>144</sup>.



- + En phase d'usage le bilan énergétique du véhicule électrique est positif par rapport au véhicule thermique<sup>144</sup>.
- |                      | Véhicule à essence | Véhicule électrique                           |
|----------------------|--------------------|---|
| Consommation moyenne | 5 l / 100 km       | Entre 12 et 20 kWh, soit 1,22l à 2,03l/100 km |
- La régénération au freinage peut atteindre 25 % de l'énergie consommée durant les phases d'accélération.
- + La comparaison du véhicule électrique avec un véhicule thermique présente un bilan énergétique global neutre en considérant toutes les phases de cycles de vie du véhicule (fabrication, usage, destruction recyclage).
  - Un véhicule électrique reste un véhicule qui circule et qui contribue à la congestion et donc au bilan énergétique globale du trafic.

<sup>142</sup> Projet FOREVER : émission sonore des véhicules légers électriques et hybrides – IFSTTAR – 12<sup>e</sup> Congrès Français d'Acoustique – Avril 2014

<sup>143</sup> Les potentiels du véhicule électrique – Avis de l'ADEME – Avril 2016

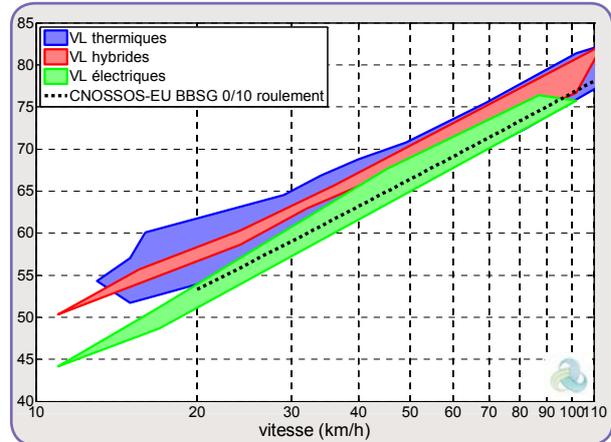
<sup>144</sup> Le véhicule électrique dans la transition écologique en France – Fondation pour la Nature et l'Homme – Novembre 2017



### • Véhicules hybrides légers

Il existe différentes techniques d'hybridation, avec un effet probable sur le bruit de propulsion en mode hybride :

- hybridations parallèles : les deux moteurs fournissent de la puissance aux roues, avec plusieurs scénarios de répartition possibles ; en phases de décélération et freinage, l'énergie cinétique est utilisée pour recharger les batteries.
- hybridations séries : le moteur électrique fournit 100 % de l'entraînement des roues ; le moteur thermique joue le rôle de groupe électrogène lorsque l'énergie électrique est fortement sollicitée. Le freinage est régénératif.
- hybridation légère (mild hybrid) : ajout d'une propulsion électrique sur un véhicule à traction thermique (essence ou diesel), avec des niveaux de puissance électrique relativement faibles.



Véhicules légers (cas d'une grande familiale, selon classement EuroNCAP) : niveaux de bruit à 7,5 m à vitesse constante – comparaison entre VL thermiques, hybrides et électriques<sup>145</sup>

## ENJEU

### PARAMÈTRE INFLUENT : MOTORISATION HYBRIDE ÉLECTRIQUE/THERMIQUE

- + À vitesse constante, en mode électrique, le bruit au passage (à 7,5 m) d'un véhicule hybride léger suit la loi<sup>145</sup> :

$$LA_{max}(v) = 75,1 + 38,9 \log(v/70) \text{ en dB(A)}$$

où v est la vitesse en km/h dans l'intervalle [17-45] km/h.

Référence : mode hybride à vitesse constante

Vitesse instantanée en km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Mode électrique à vitesse constante	-4,3 dB(A)	-2,3 dB(A)	-1,2 dB(A)	
Accélération moyenne		+2,8 dB(A)	+2,7 dB(A)	+1,7 dB(A)
Décélération	-1,2 dB(A)	-0,4 dB(A)	0 dB(A)	-0,2 dB(A)
Freinage	+4,0 dB(A)	+2,7 dB(A)	+1,9 dB(A)	+1,2 dB(A)



- + Réduction des émissions (à modèle de véhicule équivalent), sur les hydrocarbures notamment.

Exemple<sup>146</sup> : comparaison entre deux berlines de puissance identique\* :

Modèle	Puissance	Énergie	Norme Euro	CO	Hydrocarbures (HC)	NO <sub>x</sub>	Particules	CO <sub>2</sub>
Toyota Auris VVT-i Design 16''	73 kW	Essence sans plomb	Euro 6	≤ 0,041	≤ 0,390	≤ 0,007	NC	128 g/km
Toyota Auris TS Hybride Design 17''	73 kW	Essence /électrique (non rechargeable)	Euro 6	≤ 0,037	≤ 0,182	≤ 0,006	NC	91 g/km

\* Les valeurs d'émission de polluants réglementés (CO, HC, NO<sub>x</sub>, particules) sont celles issues des essais d'homologation sur cycle NEDC effectués dans le cadre du respect des normes EURO.

<sup>145</sup> M. A. Pallas, R. Chatagnon, Véhicules électriques et hybrides : enjeux acoustiques. Acoustique et Technique, 78, pp. 43-51 – 2015  
<sup>146</sup> Comparateur des véhicules particuliers neufs publié par l'ADEME (Source : <http://carlabelling.ADEME.fr>)



+ Gains de CO<sub>2</sub> significatifs par rapport aux véhicules essence classiques (émissions plus proches de celles des motorisations diesel).  
Exemple (cf. tableau ci-avant : Toyota Auris Hybride : -29 % CO<sub>2</sub>)



+ Gains pouvant atteindre 50 % en situations de fluidité optimale du trafic. Gains les plus spectaculaires en conduite urbaine, gains les plus faibles en conduite autoroutière<sup>147</sup>.

### 3.2.6 Les motorisations innovantes pour les poids lourds



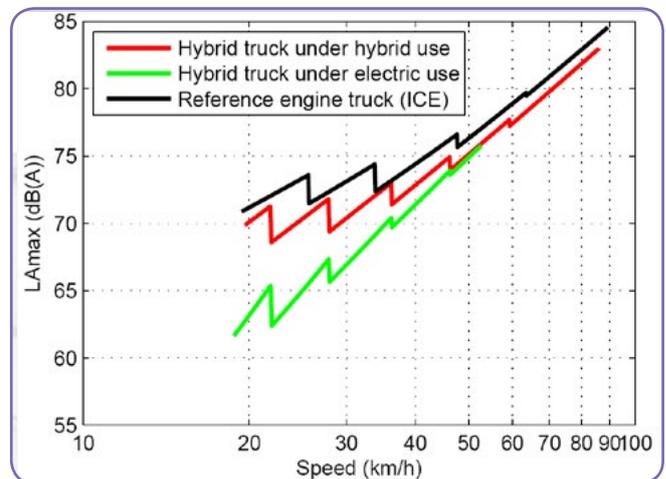
#### • Poids lourds à motorisation hybride

En mode électrique, le bruit est dominé par le bruit de contact entre le pneu et la chaussée.

La faible proportion de poids lourds dans le parc roulant – 10 % en moyenne – réduit le gain acoustique global des mesures de motorisation innovante des PL :

Hypothèse VL=90 % PL=10 %	50 % de PL hybrides
À 20 km/h	-1,4 dB(A)
À 30 km/h	-1,4 dB(A)

Gain acoustique par rapport à référence 100 % de PL thermiques<sup>148</sup>



Niveau de bruit à vitesse constante : comparaison des modes hybride et électrique avec la référence motorisation classique (fig. d'après<sup>149</sup>)

## ENJEU

### PARAMÈTRE INFLUENT : MOTORISATION HYBRIDE ÉLECTRIQUE/DIESEL<sup>150</sup>



+ Forte réduction à vitesse constante. Réduction plus faible mais restant significative en phase d'accélération ou de freinage.

	20 km/h	30 km/h	50 km/h
Comparaison Hybride / Diesel	-1,0 dB(A)	-2,7 dB(A)	-1,2 dB(A)
Comparaison Électrique / Diesel	-8,4 dB(A)	-6,0 dB(A)	-1,6 dB(A)

<sup>147</sup> Aide à la décision pour le renouvellement des flottes de véhicules des entreprises et des collectivités – Fiches de synthèse et recommandations par filière DREAL PACA / ADEME – 2013

<sup>148</sup> Les véhicules électriques et hybrides : quels enjeux acoustiques ? Marie-Agnès Pallas, IFSTTAR, AME, LAE – Université de Lyon, CeLya

<sup>149</sup> Comportement et enjeux environnementaux des poids lourds de livraison urbaine à motorisation hybride électrique – IFSTTAR – Diaporama – Décembre 2013

<sup>150</sup> Les données de ce tableau portent sur une comparaison réalisée par l'IFSTTAR entre deux porteurs isolés 2 essieux (porteur solo 4x2) : le Premium Distribution Hybris Tech de Renault Trucks et le Volvo FE





- + Émissions gazeuses en baisse sur la version hybride
  - Incertitude sur les particules
  - CO : tendance à la baisse avec la motorisation hybride
  - NO<sub>x</sub> : Réduction de 40 % avec l'optimisation hybride à 14,6 t.
  - HC : forte réduction sur la version hybride



- + Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> pour la charge moyenne



- + État de charge de la batterie (SOC) : faible influence sur la consommation de carburant (faible énergie électrique utile).  
Gain de consommation plus important pour les faibles charges (8T).

### • Poids lourds à motorisation GNV

Le degré d'octane élevé (130) de ce carburant lui confère une forte résistance à la détonation, ce qui autorise de forts taux de compression, réduit le bruit du moteur et élimine le besoin d'additifs tels que les hydrocarbures aromatiques (ceux-là même qui sont utilisés pour augmenter le degré d'octane du carburant diesel). Une étude récente estampillée ADEME et portant sur les autocars de marque Scania<sup>151</sup> montre des chiffres pour le GNV qui vont bien au-delà des obligations imposées par la norme Euro VI.

## ENJEU

### PARAMÈTRE INFLUENT : MOTORISATION GNV



- + La combustion du carburant gaz naturel est plus lente que celle des autres hydrocarbures. Elle permet une réduction significative des vibrations et par conséquent du volume sonore des moteurs.

	Gain acoustique GNV / Diesel
Bruit au passage (LA <sub>max</sub> ) <sup>152</sup> : comparaison GNV / Diesel entre deux camions de marque identique (vitesse non précisée)	↓ 3 et 5 dB(A)
Bruit à chaud à 1100 tr/min (mesure sur tracteur Stralis AT <sup>153</sup> )	↓ 5 dB(A)
Mesure du bruit autour d'un tracteur Stralis AT 157 suite à un démarrage à froid <sup>153</sup>	↓ 9 et 13 dB(A) selon le régime moteur

*Divers résultats acoustiques de comparaison de poids lourds GNV par rapport à l'équivalent diesel*



- + NO<sub>x</sub> : - 25 % / diesel<sup>151</sup> ; CO et HC : émissions équivalentes au diesel.

Modèle	CO (en g/kWh)	Hydrocarbures (HC, en g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	Particules
Autocar Diesel	0,22	0,01	0,27	NC
AutocarÉthanol	0,05	0,02	0,12	NC
Autocar GNV	0,3	0,01	0,06	NC

*Mesures des émissions de polluants des autocars Euro VI au gaz naturel, à l'éthanol et au diesel (résultats sur cycle ISC= In Service Conformity)<sup>151</sup>*

<sup>151</sup> Mesures des émissions de polluants des autocars Euro 6 au gaz naturel, à l'éthanol et au diesel – ADEME et SCANIA – Mars 2018

<sup>152</sup> Caractérisation des niveaux de bruit des poids lourds : comparatif Diesel/GNV – Acouplus – 2016

<sup>153</sup> Véhicules GNV et GNL IVECO : la solution de transition énergétique pour un transport routier durable – Clément Chandon – IVECO – Novembre 2013



**+** GNV : peut émettre jusqu'à 14 % de CO<sub>2</sub> en moins (par rapport au diesel) en usage de type extra-urbain.

- Phase d'utilisation du véhicule (du réservoir à la roue) : écarts relativement faibles entre les trois motorisations.
- Émissions liées à la production de carburant + utilisation (du puits à la roue) : très clair avantage au GNV et à l'éthanol vis-à-vis du diesel.

Modèle	Émissions de CO <sub>2</sub> pendant la phase d'utilisation du véhicule (en kg/100km)			Émissions de CO <sub>2</sub> pendant la phase de production du carburant et d'utilisation du véhicule (en kg/100km)		
	Autoroute	ISC urbain	ISC extra urbain	Autoroute	ISC urbain	ISC extra urbain
Autocar Diesel	54,0	82,6	57,5	63,6	97,3	67,7
Autocar Éthanol	54,9	83,2	55,2	7,6	11,7	8,1
Autocar GNV	49,0	78,2	49,4	15,5	26,3	16,0

Valeurs d'émissions de CO<sub>2</sub> des autocars Euro VI au gaz naturel, à l'éthanol et au diesel (résultats sur cycle ISC= In Service Conformity)<sup>151</sup>

**+** BioGNV : - 75 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> par rapport au GNV fossile.



**+** GNV particulièrement efficace avec une consommation de 17,8 kg/100 km en moyenne sur autoroute et 18,00 kg/100 km en extra-urbain.

Modèle	Consommation (bilan carbone L et kg/100km pour le gaz naturel comprimé)		
	Autoroute	ISC urbain	ISC extra urbain
Autocar Diesel (l)	20,1	30,8	21,4
Autocar Éthanol (l)	35,1	50,0	35,3
Autocar GNV (kg)	17,8	30,3	18,0

Valeurs d'émissions de CO<sub>2</sub> des autocars Euro VI au gaz naturel, à l'éthanol et au diesel (résultats sur cycle ISC= In Service Conformity)<sup>151</sup>



## CAS CONCRET

## LES AUTOBUS URBAINS ET LEURS MOTORISATIONS



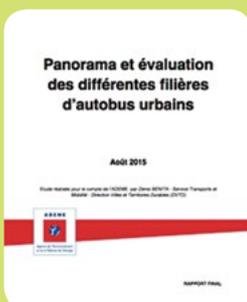
**Paris (75) :** La ligne de bus 341 (RATP) est assurée par des Bluebus 12 mètres (marque Bolloré) 100 % électriques. Équipé de 8 batteries, cet autobus offre une énergie embarquée de plus de 272 kWh et une autonomie de 200 à 250 km.

**Lille, Toulouse, Montpellier...** De nombreux grands réseaux de bus exploitent, en partie ou totalement, des bus au GNV. Les agglomérations de Lille (428 bus), Toulouse (248 bus) ou Montpellier (119 bus) roulent ainsi exclusivement au GNV. Parmi les autres plus gros réseaux figurent Bordeaux, Nancy, Strasbourg ou encore Nantes. La RATP exploite également près de 100 véhicules GNV. Ces réseaux souvent initiés à la fin des années 90 capitalisent aujourd'hui sur des infrastructures amorties ou en voie de l'être et sur une technologie que leurs équipes techniques ont appris à maîtriser.



**Saint-Étienne Métropole (42) :** La collectivité a étudié la faisabilité technique et économique du passage au gaz naturel véhicule (GNV) d'une partie de sa flotte de véhicules lourds, majoritairement composée de bus et bennes à ordures<sup>154</sup>. Cette étude recense ainsi toutes les questions que s'est posée la collectivité pour mettre en œuvre le passage de ses bus et bennes à ordures au GNV : types et coûts des infrastructures, modes de financement, modalité de stationnement, d'entretien, coûts comparés des différentes technologies envisageables, quantification des impacts environnementaux, etc. Elle s'appuie notamment sur un benchmark réalisé auprès d'un grand nombre de collectivités et réseaux de transports en communs utilisateurs de GNV, ainsi que sur les données environnementales disponibles. Faute de données suffisantes issues de la modélisation (cas du GNV Euro VI et des BOM), l'étude s'est appuyée sur des campagnes de mesures ponctuelles pour apprécier les gains environnementaux du GNV.

**Paris (75) :** Le parc de bennes à ordures ménagères (BOM) GNV en France est très concentré sur l'Île de France, avec la moitié du parc national qui roule à Paris. La Direction de la Propreté et de l'Eau (DPE) de la Ville de Paris s'est engagée depuis une vingtaine d'années dans ce choix technologique motivé par des considérations environnementales. La technologie Gaz, qui concerne aujourd'hui la majeure partie du parc de véhicules BOM et de balayeuses, donne toute satisfaction, malgré de légers surcoûts qui sont totalement assumés au titre des bénéfices apportés par ailleurs<sup>154</sup>.



**L'avis de l'ADEME :** L'ADEME a passé en revue les différentes technologies actuelles et futures dont sont équipés les bus et synthétisé dans un rapport toutes les dernières évaluations menées par l'ADEME au cours de la première moitié de la décennie 2010. Ce document apporte au travers de ses annexes quelques éléments fondamentaux sur la réglementation des autobus urbains, des données économiques sur les différentes filières de bus, ainsi que de nombreux facteurs d'émissions par type de véhicule et type de norme EURO<sup>155</sup>.

<sup>154</sup> Saint-Étienne Métropole, 2017. Étude de faisabilité pour le passage au GNV des bus et bennes à ordures de l'agglomération stéphanoise – 70 pages ADEME – Mars 2017

<sup>155</sup> Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains - Août 2015 – Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par Denis BENITA – Service Transports et Mobilité - Direction Villes et Territoires Durables (DVTD) – Août 2015

### 3.2.7 Les technologies innovantes de la voirie



Certaines technologies innovantes visent à transformer ou aménager la voirie de manière à réduire les impacts acoustiques, capter les émissions polluantes ou produire de l'énergie. Les bénéfices de ces innovations peuvent être doubles, voire triples avec l'écran antibruit photovoltaïque et piègeur de particules. Dans tous les cas, il est intéressant de s'intéresser aux effets induits par la mise en œuvre de ces technologies. Sont présentés ci-dessous les impacts air et bruit de quatre systèmes récemment mis en œuvre ou à l'étude.

#### • Revêtement antibruit et anti-chaueur

Les revêtements routiers présents sur le marché sont classés en trois catégories acoustiques, dont les plus silencieux ont un effet neutre sur l'air, le climat et l'énergie (résistance au roulement identique et abrasion identique). Cependant La Ville de Paris, en partenariat avec Bruitparif et les entreprises Colas et Eurovia, va tester dans le cadre du projet COOL and LOW NOISE ASPHALTS<sup>156</sup>, trois formules innovantes d'asphalte permettant de réduire le bruit de roulement et l'effet d'îlot de chaleur urbain. L'expérimentation portera, dès 2018, sur trois sites parisiens dont la chaussée doit être refaite : l'avenue du Général-Leclerc (14<sup>e</sup>) et deux autres axes, chacun sur une longueur de 400 m (1,2 km au total). Le budget prévisionnel s'élève à 2,9 millions d'euros<sup>157</sup>.

## ENJEU

### IMPACT DES REVÊTEMENTS DE CHAUSSÉE ACOUSTIQUE ET THERMIQUE



- + Réduction moyenne d'environ 3 dB(A) attendue.
- ! L'effet sera fortement dépendant des conditions de trafic et du comportement de conduite, la réduction du bruit de roulement étant surtout sensible à vitesse élevée<sup>158</sup>.  
Le maintien de l'efficacité de l'atténuation acoustique devra être surveillé sur la durée pour vérifier que l'effet de colmatage des micro-vides communicants, observé pour les enrobés drainants, n'apparaît pas ici.



- + D'après les porteurs du projet, les revêtements testés permettront "d'atténuer l'effet des îlots de chaleur urbains", grâce à leur couleur et à leur "micro-granularité" permettant de retenir "un film d'eau qui rafraîchira l'air en s'évaporant", après arrosage de la chaussée avec de l'eau non-potable. En outre la capacité thermique pourrait être réduite par rapport à un bitume classique, limitant ainsi l'inertie et l'effet d'îlot de chaleur nocturne.
- ! La consommation d'eau, même non potable, devra être surveillée afin de ne pas provoquer de tension sur une ressource amenée à se raréfier en été avec l'augmentation du réchauffement global.



- + Les mécanismes d'abrasion de la surface par le trafic pourraient être plus réduits, à l'instar des enrobés drainants.

<sup>156</sup> <https://www.life-asphalt.eu/>

<sup>157</sup> Une convention a été signée avec la Commission européenne afin de percevoir 1,35 million d'euros dans le cadre programme Life pour l'environnement et le climat duquel le projet COOL and LOW NOISE ASPHALTS est lauréat

<sup>158</sup> Pour une voiture roulant à 30 km/h en seconde, il compte pour 30 % environ du bruit généré par le véhicule, les bruits du moteur, de la transmission et de l'échappement étant prédominants à cette vitesse. À 50 km/h en troisième, le bruit de contact représente la moitié de la contribution sonore du véhicule ; sur autoroute, à 130 km/h, il est prépondérant, avec 90 % du bruit



### • Routes photovoltaïques

Depuis quelques années des expérimentations de routes (ou revêtements routiers) solaires se développent en France et ailleurs. La première expérience à grande échelle se déroule depuis décembre 2016 à Tourouvre : 2 800 m<sup>2</sup> de panneaux solaires durcis, collés sur 1 km de bitume d'une départementale de l'Orne par Wattway, filiale de Colas (groupe Bouygues) et l'Institut national de l'énergie solaire (INES) qui associe le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et l'université de Savoie.



Installation de la route solaire à Tourouvre (61)  
© SOULABAILLE Y./WATTWAY

Le bilan réalisé au bout d'un an montre que les objectifs sont partiellement atteints : le revêtement est robuste malgré quelques problèmes d'étanchéité, la production d'énergie atteint 85 % des objectifs fixés pour les dalles ayant fonctionné en permanence (l'encrassement est cependant relativement important à proximité des champs cultivés). Un inconvénient majeur est cependant apparu : **le roulement des véhicules** fait trop de bruit ; au point qu'il a fallu limiter la vitesse à 70 km/h sur cet axe. Le coût de cette technologie s'élève à 5 millions d'euros le kilomètre pour cette opération pilote, environ 17€/watt-crête soit entre 15 et 20 fois plus chère qu'une centrale au sol classique (division par 5 du coût visé pour la commercialisation). L'objectif affiché par l'état en 2016 d'installer 1 000 km de route solaire d'ici 2021 est donc fortement lié à la baisse des coûts sur cette technologie qui permettrait de valoriser des espaces artificialisés. Il est cependant aussi nécessaire de tenir compte de l'impact environnemental global que représenterait la diffusion de ces technologies, en particulier du point de vue de la fin de vie des matériaux mis en œuvre. Aujourd'hui, d'autres tests sont en cours, notamment en Vendée avec la même société Wattway ou deux expériences sont menées, l'une à Belleville-sur-Vie, l'autre à Mouilleron-le-Captif. Les résultats sont à ce stade mitigés, tant pour la productivité que pour la résistance des dalles.



"Pavés" photovoltaïques devant le collège de Belleville-sur-Vie (85)  
© Ouest-France

**ENJEU** IMPACT DES CHAUSSÉES PHOTOVOLTAÏQUES



Forte augmentation du bruit de roulement sur la chaussée (effet “pavés”).



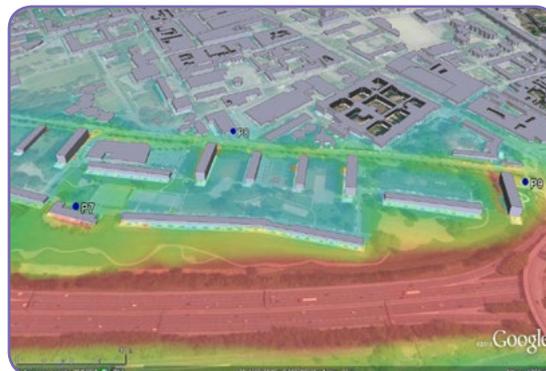
Environ 100 Wc/m<sup>2</sup>. Facteur de charge escompté = 10 % à 11 % (objectif atteint à 85 %, hors problèmes techniques).



ACV<sup>159</sup> à réaliser pour pouvoir juger de l'intérêt environnemental global, du point de vue de l'énergie grise et de la consommation de matériaux en tenant compte des capacités de recyclage en fin de vie.

• **Écrans antibruit multifonctions**

Étude de cas : quartier Faubourg de Béthune à Lille  
Dans le cadre du renouvellement urbain du quartier Faubourg de Béthune, la ville de Lille a réalisé des études environnementales fines en engageant en particulier des simulations de l'impact des aménagements proposés sur les nuisances acoustiques et la concentration de polluants par rapport à l'état actuel. Des campagnes de mesures de la pollution ont permis de caler les modélisations.



Modélisation 3D de la dispersion des polluants sur le projet Faubourg de Béthune à Lille (Source : Ville de Lille)



Premier mur antibruit photovoltaïque réalisé en 1989 sur l'A13 © TNC (Source : [www.photovoltaique.info/Murs-antibruit-photovoltaiques.html](http://www.photovoltaique.info/Murs-antibruit-photovoltaiques.html))

Ces modélisations ont montré que les dispositions constructives ne peuvent résoudre l'ensemble des problèmes, notamment vis-à-vis de la qualité de l'air, et que des mesures permettant de réduire à la source les nuisances doivent être mises en œuvre, en particulier des mesures plus contraignantes sur les transports routiers, comme par exemple la possibilité de réduire la vitesse sur l'A25 qui passe en contrebas du quartier.

En parallèle, la ville de Lille envisage l'intégration de technologies novatrices permettant de combiner l'inévitable protection acoustique avec l'enjeu de la production d'énergie grâce à un mur antibruit photovoltaïque.

<sup>159</sup> Analyse du cycle de vie



Par ailleurs, sur la partie du mur antibruit la plus exposée aux émissions de polluants, un revêtement en dioxyde de titane ayant la propriété de décomposer les NO<sub>x</sub> par photocatalyse, pourrait permettre de réduire en partie cette pollution particulière élevée sur le quartier. Cependant les résultats de mesures en conditions réelles indiquent une efficacité quasi-nulle de ces revêtements appliqués sur des murs, les proportions de NO<sub>x</sub> transformés en nitrates (taux d'abattement) atteignant moins de 0,1 %<sup>160</sup>. Cependant l'efficacité in-situ du même revêtement appliqué sur la chaussée est démontrée et les tests en laboratoires semblent



Parc des Alisiers à Antony (92) : mur antibruit composé de morceaux de pouzzolane encagés (Source : CidB)

aussi montrer que l'efficacité peut dépendre des conditions locales (jusqu'à 90 % en laboratoire). Pour aller au-delà des exemples de murs antibruit multifonctions envisagés à Lille, d'autres technologies ou projets peuvent être cités. Ainsi, des murs antibruit producteurs d'énergie pourraient intégrer des éoliennes à axe vertical (voire des phytoréacteurs, à l'instar des projets de façades d'immeubles cultivant des microalgues<sup>161</sup>). D'autres matériaux constitutifs des murs antibruit pourraient aussi avoir un effet bénéfique vis-à-vis de la pollution. Ainsi, les murs constitués de pouzzolane – une pierre volcanique qui absorbe le bruit – permettraient de piéger les particules, et de réduire ainsi les concentrations dans des secteurs fortement impactés, grâce à la porosité des granulats. L'effet serait relativement similaire à celui des asphaltes poreux (mais sans la problématique de remise en suspension par la circulation) dont l'effet sur la pollution

est cependant sujet à grande incertitude. Le projet de protection acoustique du parc des Alisiers<sup>162</sup> à Antony (92) intègre ainsi des murs antibruit composés de morceaux de pouzzolane encagés dans une sorte de séchoir à maïs. La pouzzolane absorbe le bruit (gain de de 12 décibels !), mais elle filtrerait également la pollution de l'air.

## LES ACTIONS SUR LE BÂTI | 3.3

### 3.3.1 Conjuguer isolation thermique et acoustique

Des solutions équilibrées qui prennent en compte à la fois les impératifs liés à la thermique, à l'acoustique et à la ventilation doivent être trouvées. Si les situations de contradictions entre les différentes exigences ne sont pas rares, les points de convergence existent, pourvu qu'une réflexion globale et cohérente soit menée. Cette réflexion est présentée en détail dans un guide publié par l'ADEME en 2017<sup>163</sup> dont le but est de rassembler en un seul ouvrage les notions à connaître pour qui veut concilier les trois exigences que sont l'efficacité énergétique, la QAI et le confort acoustique. Il faut savoir qu'une intervention destinée à améliorer le confort acoustique n'est vraiment ressentie que si l'amélioration qu'elle apporte est au moins de 5 dB(A). Il faudra aussi veiller à l'équilibre entre bruits intérieurs et extérieurs : à trop se protéger contre les bruits extérieurs, on court le risque d'entendre davantage les bruits intérieurs au bâtiment (ascenseur, vide-ordures, voisinage...) qui deviennent alors gênants.



<sup>160</sup> Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique État de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions antibruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique – Synthèse – ADEME – Juillet 2011

<sup>161</sup> Voir par exemple ici : <http://www.fondation-tuck.fr/upload/docs/application/pdf/2014-12/legende-durecu.pdf>

<sup>162</sup> Ville d'Anthony – Contexte, démarche et mise en place du projet d'aménagement du Parc des Alisiers – Juillet 2016

<sup>163</sup> Rénovation énergétique, confort acoustique, et qualité de l'air en habitat individuel : les fondements d'une intervention équilibrée – Guide technique et opérationnel à destination des conseillers en rénovation énergétique – CIDB pour l'ADEME – Juin 2017

• **Un exemple en isolation thermique par l'intérieur**

L'isolation thermique par l'intérieur des parois verticales va contribuer à améliorer la performance acoustique des parois sous réserve d'employer des isolants à base de laine souple (laine minérale, etc.). L'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment est ainsi améliorée alors que le choix d'un isolant rigide peut se traduire par une dégradation préjudiciable des performances acoustiques existantes. Cependant les industriels ont mis au point un isolant rigide élastifié qui possède des performances qui ne dégradent pas l'isolement acoustique.

Attention : en immeuble collectif, ainsi que dans l'habitat jumelé ou en bandes, toute solution d'isolation par l'intérieur reposant sur une mousse rigide associée à une plaque de plâtre est à proscrire, sous peine de diminuer l'isolement acoustique entre locaux mitoyens.

**ENJEU**

**ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR (ITI):  
MUR EN PARPAINGS CREUX DE 200 MM**

- + enduit ciment à l'extérieur
- + enduit plâtre à l'intérieur
- + doublage collé à base de laine minérale  
( $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ , ép. 100 mm)
- + plaque de plâtre BA10



Gain acoustique :  $\Delta R_w + C = 17 \text{ dB}$  ;  $\Delta R_w + C_{tr} = +12 \text{ dB}$

Les matériaux à base de mousse rigide (PSE, PSX, PU) détériorent la performance acoustique de la paroi (affaiblissement acoustique négatif).



Résistance thermique (support +isolant) :  $3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



L'isolation thermique par l'intérieur masque l'inertie du mur support, surtout en cas d'épaisseurs importantes, ce qui peut occasionner des problématiques de surchauffe en été.



Cette technique ne traitant pas les ponts thermiques, une hygrométrie moyenne (renouvellement de l'air insuffisant) pourrait entraîner de la condensation au droit des ponts thermiques. La mise en œuvre d'un système de ventilation s'impose alors.



Pour les matériaux en contact avec l'air intérieur, l'émission en COV doit être connue et à minima respecter les exigences de la classe A+ de l'étiquetage "Émission de polluants volatils dans l'air intérieur".



### • Un exemple en isolation thermique par l'extérieur

L'isolation thermique par l'extérieur des parois verticales va contribuer à améliorer la performance acoustique des parois sous réserve d'employer des isolants à base de laine souple (laine minérale, etc.). L'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment est ainsi amélioré alors que le choix d'un isolant rigide peut se traduire par une dégradation préjudiciable des performances acoustiques existantes. Cependant les industriels ont mis au point un isolant rigide élastifié qui possède des performances qui ne dégradent pas l'isolement acoustique.

Contrairement à l'ITI, L'isolant thermique de la façade n'est pas traversé par les transmissions latérales : son caractère favorable ou défavorable à l'acoustique n'influe donc en rien sur l'isolement acoustique entre locaux contigus.

## ENJEU

### ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR (ITE):

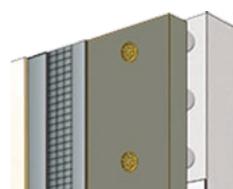
#### PARPAINGS CREUX DE 20 CM

+ enduit plâtre côté intérieur

+ enduit hydraulique extérieur

+ isolant extérieur en polystyrène expansé PSE  
( $\lambda 0,031$  W/mK, épaisseur 100 à 150 mm)

+ finition par enduit minéral mince



Gain acoustique :  $\Delta R_w + C = 0$  à  $+1$  dB ;  $\Delta R_w + C_{tr} = -1$  à  $+1$  dB



En zones de bruit (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017<sup>164</sup>), les travaux de rénovation importants (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017) ne doivent pas dégrader les performances acoustiques initiales.



Résistance thermique (support + isolant) :  
3,75 (ép. 100 mm) à 5,4 m<sup>2</sup>.K/W (ép. 150 mm)



L'isolation thermique par l'extérieur présente l'avantage de conserver les propriétés d'inertie du mur support, qui peuvent être précieuses pour modérer les températures l'été en cas d'épisode de chaleur.



Ne pas négliger la question des ponts thermiques : pour éviter le développement de moisissures, l'ITE doit être complète et continue. À surveiller tout particulièrement la jonction avec les menuiseries ou coffres de volets existants.

<sup>164</sup> Arrêté interministériel du 13 avril 2017 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments existants lors de travaux de rénovation importants

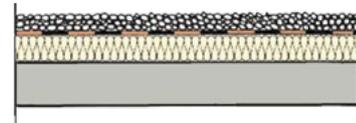
• **Un exemple avec l'isolation thermique d'une terrasse**

Les toitures terrasses constituées d'un plancher support lourd, d'un isolant, d'une étanchéité et d'une protection éventuelle de cette étanchéité ont en général des indices d'affaiblissement acoustique suffisamment élevés pour répondre aux exigences acoustiques en milieu bruyant. Il faut cependant veiller aux points singuliers que constituent les lanterneaux, gaines de VMC ou ventilations de chute.

**ENJEU**

**ISOLATION THERMIQUE D'UNE TOITURE PLATE :  
RECHERCHE D'UN  $RW+CTR = 49$  DB**

**COUCHE DE GRAVILLONS DE 40MM**  
+ étanchéité multicouche  
+ polystyrène PSX 60mm ( $\lambda 0,030$  W/mK)  
+ dalle béton armé 100 mm



$Rw+Ctr = 49$  dB



L'absence de gravillons dégrade fortement l'indice d'affaiblissement (et peut exposer l'étanchéité).



Résistance thermique (dalle + membrane + isolant + gravillons)  
=  $2,5$  m<sup>2</sup>.K/W (ép. isolant 60 mm)



Les toitures terrasse constituent une opportunité de végétaliser la toiture. Ce qui nécessite une résistance appropriée du support, une étanchéité résistante à la pénétration racinaire et une possibilité d'accès pour l'entretien. Pour plus de détails : cf. section 3.1.2 "végétalisation en milieu urbain" page 81.



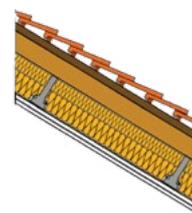
### • Un exemple avec l'isolation thermique par l'intérieur de combles aménagés

Au voisinage des aéroports ou à proximité d'un axe de transport terrestre bruyant, pour isoler des combles aménagés en toiture inclinée, la meilleure solution consiste à réaliser un plafond suspendu constitué d'un isolant en laine souple pour le remplissage du plénum et d'un parement rigide sur ossature. Les épaisseurs d'isolant dictées par la thermique (200 mm au moins) excèdent généralement celles requises pour l'acoustique (attention toutefois à l'étanchéité). Des performances acoustiques renforcées peuvent être obtenues au moyen d'une deuxième plaque de parement ou d'une plaque de plâtre acoustique (faire appel à un acousticien si des performances élevées sont visées). Si une amélioration acoustique est recherchée, l'emploi d'isolants rigides (PU, PSE) ou d'isolants minces multicouches est à éviter.

## ENJEU

### ISOLATION THERMIQUE ET ACOUSTIQUE DE COMBLES AMÉNAGÉS SOUS RAMPANT : RECHERCHE D'UN $Rw+CTR = 42 \text{ dB}$

**COUVERTURE DE TUILES EN TERRE CUITE  
À EMBOÎTEMENT POSÉES SUR LITEAUNAGE**  
+ panneau de bois aggloméré hydrofuge (CTBH) 22 mm  
+ laine souple 200 mm ( $\lambda 0,032$ )  
+ pare-vapeur  
+ 2 plaques de plâtre 13 mm



$Rw+Ctr=42 \text{ dB}$  (pour l'acoustique, 120 mm d'isolant souple suffisent.)

En zones de bruit (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017<sup>165</sup>), les travaux de rénovation importants (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017) ne doivent pas dégrader les performances acoustiques initiales.



Résistance thermique (support + isolant)  $\geq 6,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  (ép. isolant  $\geq 200 \text{ mm}$ )



L'isolation thermique par l'extérieur présente l'avantage de conserver les propriétés d'inertie du mur support, qui peuvent être précieuses pour modérer les températures l'été en cas d'épisode de chaleur.



Il est essentiel d'assurer un renouvellement de l'air permanent et efficace des volumes sous toiture ou sous planchers hauts, par exemple par la mise en œuvre d'un système de VMC afin de limiter l'humidité ambiante et d'assurer une bonne qualité de l'air intérieur.

Nota : l'épaisseur minimale d'isolant précisée ci-dessus pour l'isolation de rampants (ép. Isolant  $\geq 200 \text{ mm}$ ) constitue aussi une solution thermo-acoustique pour l'isolation de combles perdus.

<sup>165</sup> Guide ADEME Rénovation énergétique, confort acoustique et qualité de l'air 2017 page 58 : plus-value financière d'une menuiserie à la fois thermique et acoustique par rapport à une menuiserie purement thermique (données issues d'un sondage réalisé par Espace 9 auprès d'une dizaine d'entreprises de menuiserie en Île-de-France).

• **Un exemple de pose de fenêtre**

Les menuiseries extérieures sont un des principaux points faibles de l'isolation des bâtiments vis-à-vis des bruits extérieurs (la paroi opaque d'une façade a généralement une masse volumique suffisante pour ne pas constituer un point faible acoustique). L'isolement acoustique d'une façade dépend donc avant tout des performances acoustiques des menuiseries extérieures, entrées d'air et occultations. C'est le poste de travaux pour lequel la synergie entre thermique et acoustique joue à plein : de fait, le surcoût (sur le matériel seul) d'une fenêtre acoustique et thermique par rapport à son équivalent thermique uniquement, est de 15 % environ<sup>165</sup>, donc assez minime.

**ENJEU**

**POSE D'UNE FENÊTRE À LA FOIS THERMIQUE ET ACOUSTIQUE :  
RECHERCHE D'UN ISOLEMENT DE FAÇADE  $D_{nTA,TR} \geq 35$  DB**

**MENUISERIE : double vitrage à isolation thermique et acoustique renforcée (verre feuilleté) 8/12/44.1A (épaisseur 28 mm)  $R_w + C_{tr} \geq 35$  dB**

**ENTRÉE D'AIR (avec rallonge acoustique et déflecteur extérieur classique) :  
module aéraulique = 30 m<sup>3</sup>/h si VMC, 45 m<sup>3</sup>/h si ventilation naturelle  
-  $D_{ne,w} + C_{tr} \geq 39$  dB**

**COFFRE DE VOLETS ROULANTS PVC :  $D_{ne,w} + C_{tr} \geq 45$  dB**



Isolement acoustique aux bruits extérieurs de la façade :  $D_{nTA,TR} \geq 35$  dB<sup>166</sup>.



En zones de bruit (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017<sup>167</sup>), les travaux de rénovation importants (au sens de l'arrêté du 13 avril 2017) ne doivent pas dégrader les performances acoustiques initiales.



Double vitrage avec lame d'argon 12 mm : coefficient  $U_g = 1,3$  W/m<sup>2</sup>.K au mieux. Pour atteindre une performance  $U_g$  de 1,1 W/m<sup>2</sup>.K, il faut une lame d'argon d'épaisseur 16 mm.

Performance de la menuiserie (critères d'éligibilité au crédit d'impôt en vigueur jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2018) :  $U_w \leq 1,3$  W/m<sup>2</sup>.K et  $S_w \geq 0,3$  ou  $U_w \leq 1,7$  W/m<sup>2</sup>.K et  $S_w \geq 0,36$ . Pour les fenêtres orientées au nord, on cherchera à maximiser le facteur de transmission solaire  $S_w$  (plus  $S_w$  est proche de 1, plus la quantité d'énergie transmise est importante).



Des fenêtres à contrôle actif existent depuis peu sur le marché : elles permettent d'entrouvrir la fenêtre (par exemple pour ventiler la nuit en été) sans trop dégrader les performances acoustiques. Il existe aussi des "labyrinthes actifs" qui ont une action sur les polluants et le bruit extérieur.



Pour limiter les surchauffes en été, on optera par exemple pour un  $S_w = 0,38$  (62 % de l'énergie solaire bloquée à l'extérieur).



Le remplacement de menuiseries anciennes suppose de respecter les exigences réglementaires relatives aux entrées d'air<sup>168</sup> (débits d'air minimum, fonction du système de ventilation du logement et des éventuels appareils à combustion présents). L'extraction mécanique permet un dimensionnement inférieur du module aéraulique (par rapport à la ventilation naturelle) et donc de faire entrer moins de bruit. La VMC double flux permet de supprimer les entrées d'air.

<sup>166</sup> Valeur pour une chambre de 12 m<sup>2</sup>, hauteur sous plafond de 2,5m avec une fenêtre de 4 m<sup>2</sup>, une entrée d'air en menuiserie et paroi opaque de masse surfacique au moins égale à 200 kg/m<sup>2</sup>

<sup>167</sup> Arrêté interministériel du 13 avril 2017 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments existants lors de travaux de rénovation importants

<sup>168</sup> Articles 12-I et 12-II de la RT par élément dans les bâtiments existants (Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants)



## FOCUS

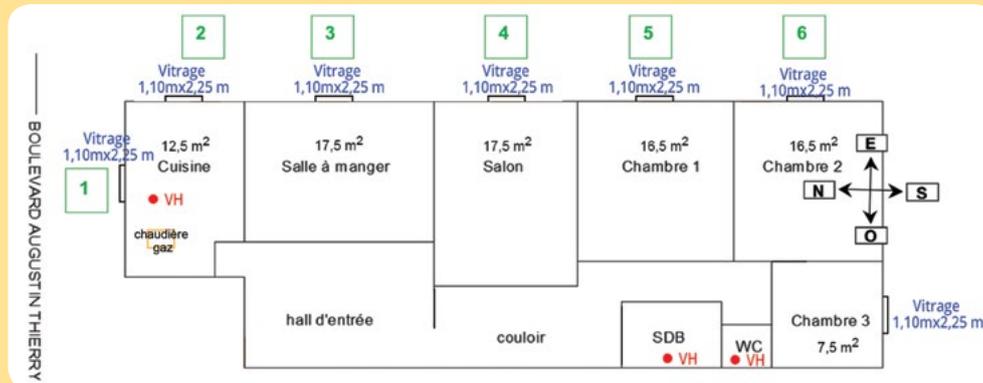
PROTECTION CONTRE LES BRUITS EXTÉRIEURS : EXEMPLE  
D'APPLICATION DE L'ARRÊTÉ DU 13 AVRIL 2017

L'agence locale de l'énergie de Saint-Étienne a reçu la visite du propriétaire d'un logement situé en centre-ville de Saint-Étienne. Son objectif est de remplacer les fenêtres de son logement afin d'en améliorer les performances thermiques. Il voudrait également en profiter pour améliorer la performance acoustique de son logement exposé au bruit : six fenêtres sont concernées (voir plan ci-dessous).



Situation du logement par rapport à l'axe bruyant : les façades exposées au bruit sont la façade Nord et la façade Est

Le conseiller en rénovation énergétique souhaite s'inspirer de la méthodologie de l'arrêté du 13 avril 2017 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments existants lors de travaux de rénovation importants<sup>169</sup> pour étudier les possibilités d'amélioration des performances acoustiques aux bruits extérieurs de cette habitation.



Ouvertures concernées du logement : seules les fenêtres au Nord et à l'Est (n°1 à 6) sont exposées au bruit

### 1. Niveau d'exigence acoustique recherché

Après consultation des cartes de bruit stratégiques établies par Saint-Étienne Métropole, il s'avère que le bâtiment figure sur la carte de "type C" (zones pour lesquelles les valeurs limites d'exposition au bruit sont dépassées aux abords des infrastructures de transports). C'est donc le niveau d'exigence acoustique amélioré ( $DnT,A, tr = 35$  dB) qui doit être respecté.

### 2. Vérification de la possibilité d'appliquer la méthode des exigences acoustiques par éléments

L'arrêté du 13 avril 2017 considère que, dans les cas relativement simples, le respect des exigences acoustiques par éléments (précisées dans les tableaux de performances par éléments de l'arrêté) permet de concevoir des solutions correspondant aux niveaux d'exigence acoustique en façade

<sup>169</sup> Arrêté interministériel du 13 avril 2017 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments existants lors de travaux de rénovation importants



“basique” ( $DnT_{A,tr} = 32$  dB) et “amélioré” ( $DnT_{A,tr} = 35$  dB). Pour atteindre le niveau d'exigence renforcé ( $DnT_{A,tr} = 38$  dB), une étude acoustique s'impose.

Également, l'arrêté souligne qu'une étude acoustique est obligatoire dans les deux cas suivants (en cas de travaux importants réalisés en zone de bruit) :

- lorsque les ratios  $rE$  (surface des éléments d'ouverture / surface au sol) ou  $rT$  (surface de la toiture/ surface au sol) sont supérieurs aux maximums indiqués dans les tableaux d'exigences par élément de l'arrêté ;
- en présence de façades légères (masse surfacique de la paroi opaque inférieure à  $200$  kg/m<sup>2</sup>)<sup>170</sup>.

### 2.a Critère du ratio $rE$ pour chaque pièce concernée

Pièce	Surface (en m <sup>2</sup> )		Ratio $rE$
	Au sol	De chaque menuiserie	
Cuisine	12,5	2,48	0,397
		2,48	
Salle à manger	17,5	2,48	0,142
Séjour	17,5	2,48	0,142
Chambre 1	16,5	2,48	0,150
Chambre 2	16,5	2,48	0,150

Ratio  $rE$  pour chaque pièce concernée par les travaux d'amélioration acoustique

### 2.b Critère de la masse surfacique de la façade

La partie opaque de la façade de l'immeuble est constituée de maçonnerie en moellons de 20 cm d'épaisseur, sa masse surfacique est donc supérieure à la masse surfacique minimale ( $200$  kg/m<sup>2</sup>) imposée dans le tableau en annexe 1 de l'arrêté.

### 3. Exigences réglementaires relatives aux entrées d'air

En cas de remplacement de fenêtres, la RT existant par éléments<sup>171</sup> fixe l'obligation d'équiper d'entrée d'air toute nouvelle fenêtre ou porte fenêtre installée dans une pièce principale, sauf dans les locaux déjà munis d'entrée d'air ou de bouches d'insufflation. La somme des modules de ces entrées d'air doit au moins être de 45 pour les chambres et 90 pour les séjours (valeur pouvant être réduite lorsque l'extraction d'air mécanique permet un dimensionnement inférieur).

Pièces	
Séjour	Chambre 1
2 modules de 45 m <sup>3</sup> /h, ou 3 modules de 30 m <sup>3</sup> /h, ou 4 modules de 22 m <sup>3</sup> /h	1 module de 45 m <sup>3</sup> /h ou 2 modules de 22 m <sup>3</sup> /h

Exigences relatives aux modules aérauliques des entrées d'air pour chaque pièce faisant l'objet d'un remplacement de menuiserie extérieure

### 4. Détermination des performances acoustiques des menuiseries et entrées d'air

À partir des valeurs du ratio  $rE$ , le tableau de l'annexe 1 de l'arrêté permet de déterminer les performances acoustiques minimales à respecter pour chaque élément (menuiserie, entrée d'air). Dans l'annexe 1 de l'arrêté, on s'intéressera donc aux performances acoustiques des menuiseries obtenues avec entrée d'air.

Annexe 1

Cartes C et PDS zone 2 : Niveau d'exigence acoustique amélioré

Localisation des travaux	Éléments faisant l'objet de travaux	Ratio $rE$ ou $rT$	Indice d'affaiblissement acoustique ou isolement normalisé de l'élément		
			Sans entrée d'air	Une seule entrée d'air dans la pièce	Deux entrées d'air dans la pièce
Façade	Fenêtre, porte-fenêtre, porte extérieure, bloc-baie	$rE < 0,3$	$Rw + Ctr \geq 31$ dB	$Rw + Ctr \geq 34$ dB	$Rw + Ctr \geq 34$ dB
		$0,3 < rE \leq 0,5$	$Rw + Ctr \geq 33$ dB	$Rw + Ctr \geq 36$ dB	$Rw + Ctr \geq 36$ dB
		$0,5 < rE \leq 0,7$	$Rw + Ctr \geq 34$ dB	$Rw + Ctr \geq 37$ dB	$Rw + Ctr \geq 37$ dB
		$0,7 < rE \leq 0,8$	$Rw + Ctr \geq 36$ dB	$Rw + Ctr \geq 41$ dB	$Rw + Ctr \geq 41$ dB
	Entrée(s) d'air	Sans objet		$Dn, e, w + Ctr \geq 39$ dB	$Dn, e, w + Ctr \geq 41$ dB

Ouvertures concernées du logement : seules les fenêtres au Nord et à l'Est (n°1 à 6) sont exposées au bruit

<sup>170</sup> Soit un béton d'épaisseur > 10 cm, ou des blocs de béton creux d'épaisseur > 20 cm, ou des briques creuses d'épaisseur > 25 cm, ou des briques pleines d'épaisseur > 10 cm, ou des pierres dures d'épaisseur > 10 cm, ou des pierres tendres d'épaisseur > 15 cm

<sup>171</sup> Articles 5 et 12 de l'arrêté du 3 mai 2007 modifié le 22 mars 2017 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants





Pièce	Surface (en m <sup>2</sup> )		Ratio rE	Nombre d'entrées d'air dans la pièce	Nature de l'élément	Indice d'affaiblissement acoustique Rw+Ctr	Classement Acotherm*	Type de menuiserie	Type d'entrée d'air
	Au sol	De chaque menuiserie							
Cuisine	12,5	2,48	0,397	0	2 fenêtres sans entrée d'air	Rw + Ctr ≥ 33 dB	AC2	fenêtre 2 vantaux vitrage 10/16/6 Argon Warm Edge Uw < 1.6 W/m <sup>2</sup> .K	Pas d'entrée d'air
		2,48				Rw + Ctr ≥ 33 dB	AC2		
Salle à manger	17,5	2,48	0,142	1	1 fenêtre avec entrée d'air en menuiserie	Rw + Ctr ≥ 34 dB	AC3	fenêtre 2 vantaux vitrage 10/16/44.2AC Argon Warm Edge Uw < 1.6 W/m <sup>2</sup> .K	Entrée d'air autoréglable sur menuiserie avec capot, rallonge acoustique et auvent acoustique extérieur. Débit = 45 m <sup>3</sup> /h Dnew+Ctr > 39 dB
Séjour	17,5	2,48	0,142	1		Rw + Ctr ≥ 34 dB	AC3		
Chambre 1	16,5	2,48	0,150	1		Rw + Ctr ≥ 34 dB	AC3		
Chambre 2	16,5	2,48	0,150	1		Rw + Ctr ≥ 34 dB	AC3		

Performances acoustiques minimales à respecter pour chaque élément

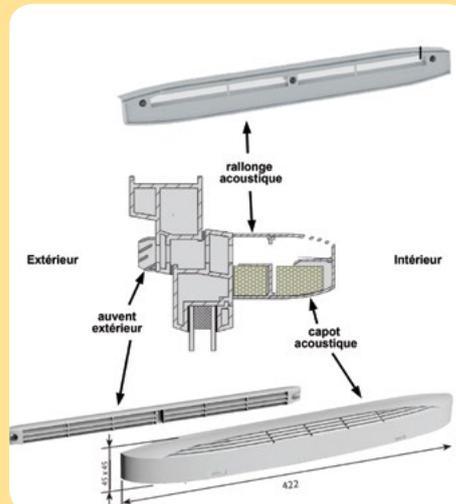
### Considérations relatives à la ventilation

Dans l'état actuel avant travaux, le logement est uniquement doté de bouches de ventilation haute dans la cuisine, les WC et la salle de bain. Celles-ci doivent être conservées afin de garantir le respect des exigences de l'arrêté du 27 mars 1982 relatif à l'aération des logements. Cet appartement est doté d'un appareil de cuisson à gaz. Dans tous les cas, s'il y a une livraison de gaz domestique dans un logement, la somme des modules des entrées d'air doit au minimum être de 90 m<sup>3</sup>/h (3 x M30 ou 2 x M45). Dans ce vaste logement aux pièces nombreuses, cette condition est facilement respectée. Mais dans les petits logements (T1 ou studio), surtout en présence d'une seule fenêtre ou vantail, cet impératif peut poser des problèmes d'acoustique vis à vis de l'extérieur. L'appartement est aussi équipé d'un générateur mural gaz de 24 kW raccordé sur un conduit CF à tirage naturel. En pareil cas, on doit pour l'ensemble du logement une somme des modules d'EA de 6,2 fois sa puissance exprimée en kW. Soit pour ce cas, 24 x 6,2 = 150. Il est alors difficile de répondre à cette nécessité pour un 1 pièce comme pour un 2 pièces, mais aisé d'assurer le besoin dès le 3 pièces (2 Ch. à 45 + 1 Séj. à 90 = 180). Pour un 2P, l'on pourra rajouter une EA directement en cuisine (1 Ch. à 45 + 1 Séj. à 90 + 1 Cuis. à 30 = 165). Dans un 1 pièce, on peut y arriver si le séjour et la cuisine sont chacun pourvus d'une fenêtre à 2 vantaux : 2 x 45 en Séj + 2 x 30 en Cuis = 150.

\* Le classement Acotherm définit quatre classes de performance d'affaiblissement acoustique pour les menuiseries extérieures (fenêtres, fenêtres de toit, portes extérieures) ou bloc-baie :

Classes Acotherm		AC1	AC2	AC3	AC4
Rw+Ctr (en dB)	Sans entrée d'air	28	33	36	40
	Avec entrée d'air	26	31	34	38

Classement Acotherm pour les menuiseries extérieures



Entrée d'air autoréglable acoustique : en version 45 m<sup>3</sup>/h, cette entrée d'air est limitée à un Dnew+Ctr de 39 dB. Pour atteindre 41 dB avec cette entrée d'air, il faudrait choisir la version à débit aéraulique 30 m<sup>3</sup>/h, ce qui nécessiterait l'installation d'une ventilation contrôlée (VMC ou VMR). (doc. d'après ISOLA 2 22/30/45 de France AIR). Hélas, les entrées d'air qui atteignent la performance Dnew+Ctr 41 dB présentent l'inconvénient d'un encombrement important : 42 cm de large, saillie de presque 5 cm !

CAS CONCRET

**DUNKERQUE GRAND LITTORAL :  
COUPLAGE DES DISPOSITIFS PREV'BRUIT ET REFLEX ÉNERGIE**



Fond cartographique [www.carto-cud.fr](http://www.carto-cud.fr) : à gauche, déperditions thermiques des bâtiments (cartographie infra-rouge) ; à droite, cartographie des niveaux de bruits routiers supérieurs à 68 dB(A) Lden (cartes stratégiques de bruit)

**CONVERGENCE  
CLIMAT, AIR,  
ÉNERGIE, BRUIT**

- Remplacement des ouvertures par des fenêtres à la fois thermiques et acoustiques
- Superposition des thermographies infra-rouge et des cartes stratégiques de bruit
- Cumul des aides financières des dispositifs Prev'Bruit et Reflex Énergie

**OBJECTIFS**

- Amélioration acoustique des logements exposés au bruit du trafic routier
- Rénovation thermique des logements

**CONTEXTE**

- Depuis le printemps 2017, la Communauté urbaine de Dunkerque (CUD) octroie une aide financière pour l'insonorisation des logements exposés au bruit routier. Sont éligibles à ce dispositif les propriétaires ou locataires d'une maison ou d'un appartement construits avant 1979, et exposés à un niveau de bruit en façade excédant 68 dB(A) Lden ou 62 dB(A) Lnight. Les travaux doivent être réalisés par une entreprise labellisée "RGE" pour le domaine des menuiseries extérieures et garantir des niveaux minima de performances acoustiques et thermiques. L'aide financière directe de la CUD ne pourra pas dépasser 40 % du montant TTC des travaux (pose et fourniture), avec une enveloppe maximale de 2 800 euros pour un appartement et de 4 800 euros pour une habitation individuelle.
- Depuis 2006, le dispositif Réflexénergie accorde des aides financières consacrées aux économies d'énergie. Un cadastre de thermographie aérienne au 1/20<sup>e</sup> permet à l'habitant d'estimer le niveau de déperdition de son logement.

**RÉSULTATS /  
RÉALISATIONS**

- Utilisation des cartes stratégiques de bruit pour déterminer l'éligibilité à Prev'Bruit
- Moins de 1000 logements éligibles à Prev'Bruit avec les critères initiaux (logements n'ayant jamais fait l'objet de travaux de rénovation des menuiseries extérieures) : dispositif élargi à 6 000 personnes en assouplissant les critères.



- Données de thermographie aérienne accessibles sur [www.carto-cud.fr](http://www.carto-cud.fr)
- Numéro vert pour rendez-vous avec un conseiller Info-énergie, lequel réalise un bilan "bruit" et un bilan "énergie" qui sont communiqués aux pétitionnaires afin qu'ils puissent réaliser des devis et obtenir une subvention mixte thermique et acoustique.



Une aide de 10€/m<sup>2</sup> est accordée pour l'isolation thermique des murs et toitures, dans la limite de 100 m<sup>2</sup>

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

- Munis d'une carte professionnelle, deux agents de la Communauté urbaine font du porte à porte afin de sensibiliser le public aux aides financières consacrées aux économies d'énergie et aux bons gestes. La cartographie infra-rouge permet de cibler en priorité les immeubles les moins bien isolés.
- Guichet unique : Reflex Énergie réceptionne toutes les demandes d'aide et redirige vers Prev'Bruit en cas d'éligibilité à l'aide à l'insonorisation.
- Problème lié à la cohérence entre la couche "bâti" et les isophones d'exposition au bruit : il peut arriver qu'un immeuble situé en arrière plan par rapport à une rue bruyante ne soit pas considéré comme exposé au bruit par la modélisation acoustique, alors que dans les faits, la façade est réellement exposée au bruit. Nécessité d'une intervention humaine pour requalifier les résultats cartographiques.

#### FINANCEMENT

- Possibilité de financement ANAH complémentaire des deux dispositifs Prev Bruit et Reflex Énergie, avec des prises en charge en fonction des revenus.

#### POINTS DE VIGILANCE

- À proximité des limites des isophones seuil, la résolution au 1/50<sup>e</sup> des cartes de bruit ne permet pas de déterminer précisément si un logement est éligible ou non (effet de pixellisation) : lors de la prochaine actualisation des cartes (les cartes actuelles datent de 2014), il est envisagé de demander au prestataire de fournir des cartes au 1/20<sup>e</sup>.

#### CONTACT

- Samuel Degezelle – [samuel.degezelle@cud.fr](mailto:samuel.degezelle@cud.fr)

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- Rénovation énergétique, confort acoustique, et qualité de l'air en habitat individuel : les fondements d'une intervention équilibrée – Guide technique et opérationnel à destination des conseillers en rénovation énergétique" – CIDB pour l'ADEME – Mai 2016

CAS CONCRET

**AIX-EN-PROVENCE : DISPOSITIF D'AIDE DIRECTE  
AUX PARTICULIERS POUR L'AMÉLIORATION THERMIQUE  
ET ACOUSTIQUE DES LOGEMENTS**



© CT Pays d'Aix



**CONVERGENCE  
CLIMAT, AIR,  
ÉNERGIE, BRUIT**

- Volonté de faire converger les enjeux acoustique, thermique, climat et qualité de l'air à l'occasion de travaux d'isolation de façade.

**OBJECTIFS**

- Dispositif d'aide directe aux particuliers pour l'amélioration du confort acoustique et thermique des logements.
- En attendant l'élaboration de cartes de bruit à l'échelle de la métropole et la définition d'orientations stratégiques (prévues pour 2020), le Conseil de territoire du Pays d'Aix poursuit les actions engagées sur son territoire en matière de lutte contre le bruit.
- Action mise en œuvre dans le cadre du PPBE 2015 de la CPA du Pays d'Aix.

**CONTEXTE**

- Bénéficiaires : propriétaires résidents ou locataires du logement à protéger.
- Logement construit avant le 30 mai 1996.
- Remplissant les conditions d'exposition au bruit suivantes :
  - $L_{den} > 65 \text{ dB(A)}$  ou  $L_n > 62 \text{ dB(A)}$ . Les niveaux d'exposition sont établis en fonction des valeurs affectées par bâtiment dans le cadre de la cartographie du bruit du Pays d'Aix.
- Montant de l'aide :
  - 40 % du coût des travaux (pose et fourniture);
  - Plafonnée à 7 000 € pour un logement collectif (2 800 € d'aide);
  - Plafonnée à 12 000 € pour une habitation individuelle (4 800 € d'aide);
- Critères d'attribution :
  - Fenêtres, portes et aérations acoustiques et thermiques;
  - Label Ceko ou Acotherm exigé;
  - Performance acoustique  $\geq 30 \text{ dB}$ ;
  - Performance thermique conforme à la fiche CEE BAR-EN-104;
  - Travaux à réaliser par une entreprise RGE "Menuiserie extérieure".



### ... GESTION DE L'AIDE

- *Gestion de l'aide*
  - Confiée à Maison Énergie Habitat Climat (MEHC) du Pays d'Aix;
  - MEHC : interlocuteur référent pour les particuliers sollicitant l'aide à l'insonorisation du Pays d'Aix ; donne un avis technique sur les dossiers.
- *La MEHC assure aussi la promotion des actions Bruit, Air, Climat et Énergie auprès du grand public et des acteurs de la rénovation par :*
  - l'accueil et le conseil personnalisé des particuliers ;
  - des réunions d'information grand public ou dédiées aux copropriétés, bailleurs sociaux...
- *L'information et le conseil du public pour les travaux de rénovation de l'habitat (protection contre le bruit, rénovation énergétique, économies d'énergie et énergies renouvelables, dispositifs d'aide à la rénovation).*

### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

- *Bilan 2015-2018*
  - 40 dossiers validés ;
  - Montant de l'aide Pays d'Aix : 50 000 € ;
  - Montant des travaux engagés : 150 000 € ;
  - Une aide complémentaire du Pays d'Aix mise en œuvre en 2017 sur les quartiers les plus exposés permet de prendre en charge 20 % supplémentaires du coût des travaux.

### CONTACT

- Céline Sales – Chef du service Écologie Urbaine Communauté du Pays d'Aix - Métropole Aix-Marseille Provence  
[celine.sales@ampmetropole.fr](mailto:celine.sales@ampmetropole.fr)

### POUR ALLER PLUS LOIN

- *Formulaire de demande d'aide pour les travaux d'isolation acoustique*

## CAS CONCRET

### STRASBOURG : RÉHABILITATION THERMIQUE ET ACOUSTIQUE DE L'ÉCOLE PRIMAIRE LOUVOIS



École primaire Louvois : façade donnant sur l'avenue bruyante (à gauche, photo avant réhabilitation)

### CONVERGENCE CLIMAT, AIR, ÉNERGIE, BRUIT

- *Remplacement des ouvertures par des fenêtres à la fois thermiques et acoustiques*

...





- Installation d'une VMC double flux :
  - filtration des polluants au niveau de la prise de renouvellement d'air;
  - suppression des entrées d'air en façade des classes : obtention de forts niveaux d'isolement acoustique vis-à-vis de l'extérieur;
  - moindres déperditions thermiques dues au renouvellement d'air.

#### OBJECTIFS

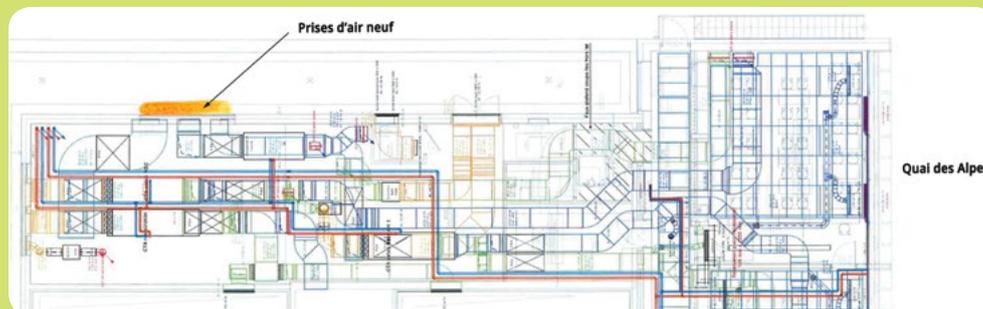
- Rénovation et extension de l'école élémentaire
- Amélioration de la protection contre les bruits extérieurs
- Amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment
- Amélioration de la qualité de l'air intérieur dans les classes

#### CONTEXTE

- De février 2016 à la rentrée de septembre 2017, les travaux ont porté sur la rénovation totale du bâtiment de l'école (construite en 1955, gestionnaire : Eurométropole de Strasbourg) et donnant sur une voie bruyante (quai des Alpes, Lden 68 dB).
- Une deuxième phase de travaux (en cours) concerne l'extension de l'école et du restaurant scolaire.

#### RÉSULTATS / RÉALISATIONS

- Remplacement de 50 ouvertures sur deux étages – 1 250 € par ouverture.
- Installation d'une ventilation double flux avec prise d'air à l'arrière du bâtiment équipée d'un filtre à poches de type F7.
- Isolation extérieure par enduit plastique sur polystyrène.
- Chantier réalisé sans fermeture de l'établissement (déménagement de toutes les salles de classe dans des bâtiments modulaires disposés dans une partie de la cour de récréation).



Les prises d'air neuf sont éloignées d'une trentaine de mètres de la source de pollution (Quai des Alpes). Elles sont équipées d'un filtre à poches de classe de filtration F7

#### FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS

- C'est la recherche de forts isolements acoustiques de façade qui a fait emporter la décision d'opter pour la ventilation double flux (suppression des entrées d'air en façade). Le maître d'ouvrage (Eurométropole de Strasbourg) a appuyé pour que cette option soit retenue. Des arbitrages budgétaires ont dû être réalisés.
- Sous-traitance pour étude d'impact détaillée : cartographie (Cerema), acoustique architecturale (OTE Ingénierie).
- Financement ADEME.
- Architecte (OSLO Architectes) garant de la cohérence des travaux.
- Travaux inscrits au PPBE de mai 2014.
- Mesures de réception réalisées après travaux.




**FINANCEMENT**

- *Financement ADEME pour le traitement des points noirs du bruit (80 % du coût des travaux).*

**POINTS DE VIGILANCE**

- *Risque d'affaiblissement de l'isolement aux bruits extérieurs par l'ITE par enduit sur isolant rigide (risque non problématique ici car densité du mur support suffisante et épaisseurs d'ITE supérieure à 60 mm).*

**CONTACT**

- *Mohamed Meziane – Eurométropole de Strasbourg  
mohamed.meziane@strasbourg.eu*

**POUR ALLER PLUS LOIN**

- *Rénovation énergétique, confort acoustique, et qualité de l'air en habitat individuel : les fondements d'une intervention équilibrée - Guide technique et opérationnel à destination des conseillers en rénovation énergétique" - CIDB pour l'ADEME - Mai 2016.*

## 3.4

**LES ACTIONS LIÉES  
À LA PRODUCTION D'ÉNERGIE**
**3.4.1 Production d'énergie renouvelable**


En ce qui concerne la production d'énergie, et notamment les filières de production d'énergie renouvelables dont le développement va constituer un des axes stratégiques des PCAET, l'analyse et les recommandations qui suivent

portent en particulier sur les enjeux bruit identifiés. Dans la majorité des cas, le bruit généré par les installations peut être atténué en tenant compte de certaines recommandations et précautions lors de leur mise en place. La plupart des installations nécessaires à la production d'énergie sont également soumises à une réglementation qui vise à prendre en compte et restreindre les nuisances sonores (réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, réglementation sur les bruits de voisinage).

**• Le bois énergie**

Avec les chaufferies bois de forte puissance, attention aux bruits de livraison en combustible par camion avec des fréquences de livraison élevées. De fait, le talon d'Achille de l'énergie bois, c'est sa faible densité énergétique. En comparaison avec le fioul (à PCI égal), la plaquette forestière est 11 fois plus volumineuse. Parfois, plus que le bruit ou la qualité de l'air, c'est la détérioration du bitume des rues causée par les livraisons des camions qui constitue le principal motif de plainte de la part des riverains des chaufferies bois industrielles. Le granulé de bois, quant à lui, est plus dense (mais 3 fois moins que le fioul, à PCI égal) ; mais la livraison par camion souffleur est bruyante et prend du temps (livrer 25 tonnes peut prendre plusieurs heures !). C'est pourquoi, en milieu urbain ou périurbain, quand c'est possible, on préfère une livraison par camion benne (mais alors avec un volume de stockage en contrebas de la chaussée accessible aux camions).



## ENJEU TAILLE DES CHAUFFERIES



! Une chaufferie au bois déchiqueté de 20 MW consomme près de 150 tonnes de plaquettes forestière par jour, ce qui nécessite un ballet régulier de camions de livraison. Avec ce type d'installation, mieux vaut envisager une implantation à distance suffisante des habitations.



! Bien que capables de rendements de combustion intéressants, les chaufferies bois de taille industrielle sont parfois pointées du doigt pour des dépassements des valeurs limites d'émissions. En cause, le plus souvent la qualité du combustible (plaquettes forestières et de bois d'élagage broyé, palettes de transport) et le taux de charge de la chaudière. À tel point que certains maîtres d'ouvrage n'hésitent pas à investir d'emblée dans de coûteux systèmes de réduction des émissions de particules (électrofiltres ou filtres à manche placés dans les conduits d'évacuation des fumées, préfiltration par cyclone, condenseurs)<sup>172</sup>.

### • L'éolien

Les éoliennes étant des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), elles sont soumises à des régimes d'installations ou de déclaration<sup>173</sup> et leur impact sonore est donc systématiquement pris en compte lors du montage et de la validation des projets.

La génération de nuisances sonores par les éoliennes est un sujet bien documenté qui fait l'objet de ressources et de nombreux travaux spécifiques<sup>174</sup>. L'ANSES<sup>175</sup> propose des recommandations en matière d'étude et de recherche, et notamment des indications relatives à l'information des riverains et à la surveillance des niveaux de bruit. Ces dernières sont présentées ici. L'ANSES recommande :

- de renforcer l'information des riverains dans la mise en place des projets d'installation de parcs éoliens et la participation aux enquêtes publiques conduites en milieu rural ;
- de systématiser les contrôles des émissions sonores des éoliennes pendant et après leur mise en service ;
- de mettre en place, notamment dans le cas de situations de controverses, des systèmes de mesurage en continu du bruit autour des parcs éoliens (en s'appuyant par exemple sur l'expérience acquise dans le milieu aéroportuaire)."



## ENJEU BRUIT DES ÉOLIENNES



! En cas de voisinage proche, on prendra garde à l'empreinte sonore des éoliennes domestiques (hauteur de mat inférieure à 12 mètres), qui, elles, ne sont pas soumises à la réglementation sur les ICPE. La réglementation sur les bruits de voisinage (code de la santé publique, constat à l'oreille par un agent assermenté) s'applique bel et bien à ce type d'équipement.

<sup>172</sup> ADEME - Évaluation technico-économique des systèmes de réduction des émissions de particules des chaudières biomasse – Synthèse publique – 2012

<sup>173</sup> Éoliennes : un nouveau droit – Actu Environnement – 2011

<sup>174</sup> Notamment, le congrès sur le bruit des éoliennes "International Conferences on Wind Turbine Noise"

<sup>175</sup> Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes – Travaux et recommandations de l'ANSES.





© ADEME

#### • La méthanisation des déchets

Bien que le procédé de méthanisation soit en lui-même silencieux, il existe un risque de génération de nuisances sonores liées au transport des déchets et des substrats, ainsi qu'au fonctionnement des moteurs de cogénération (en cas de valorisation par cogénération)<sup>176</sup>.

### ENJEU

#### BRUIT DES LIVRAISONS



- 

“En ce qui concerne le bruit lié au transport, les véhicules, les matériels de manutention et les engins de chantier utilisés à l'intérieur de l'installation doivent être conformes aux dispositions en vigueur en matière de limitation de leurs émissions sonores, et doivent être utilisés pendant les horaires de travail habituels. L'usage de tous appareils de communication par voie acoustique (sirènes, haut-parleurs, avertisseurs) est interdit, sauf si leur emploi est exceptionnel et réservé à la prévention et au signalement d'incidents graves”<sup>176</sup>.
- 

“En ce qui concerne les bruits liés aux moteurs de cogénération, une étude acoustique permet de prendre les mesures nécessaires (par exemple revêtement absorbant sur les murs et le plafond pour respecter les normes imposées par la réglementation). Selon la réglementation ICPE à laquelle sont soumises les installations de méthanisation, “le niveau de bruit en limite de propriété de l'installation ne dépasse pas, lorsqu'elle est en fonctionnement, 70 dB pour la période de jour et 60 dB pour la période de nuit...”<sup>176</sup>.
- 

Attention au positionnement des lieux de collecte collectifs pour éviter les nuisances sonores.
- 

Encourager les ménages à la réduction des déchets permet de réduire la fréquence des collectes. Cela impacte positivement l'ensemble des thématiques considérées : climat, air, énergie et bruit !

<sup>176</sup> Fiche technique méthanisation – Service Prévention et Gestion des Déchets – Direction Consommation Durable et Déchets – ADEME Angers – 2015



© Santeri Viinamäki

#### • Les pompes à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) peut être source de nuisances sonores. Le niveau sonore d'une PAC varie couramment de 45 à 65 dB(A) selon les modèles, avec des pointes possibles en mode dégivrage. L'installations des PAC doit donc se faire en tenant compte de la problématique du bruit et de la réglementation en vigueur concernant le bruit de voisinage.

### ENJEU

### BRUIT DE VOISINAGE



- Générateur de bruit. Le bruit généré par les PAC peut être atténué en tenant compte de recommandations lors de leur mise en place. Un document de l'AFPAC<sup>177</sup> présente des recommandations pour l'implantation et rappelle certains éléments liés à la réglementation des bruits de voisinage.
- ! Attention en particulier aux pompes à chaleur AIR/AIR<sup>178</sup>.



© ADEME

#### • L'énergie photovoltaïque

La filière photovoltaïque est peu concernée par la problématique du bruit, il faut néanmoins relever l'existence de murs antibruit photovoltaïques qui permettent la production d'électricité simultanément à la protection acoustique. Ces infrastructures permettent notamment la réalisation de centrales photovoltaïques de taille importante sans pour autant occuper de surface supplémentaire au sol<sup>179</sup>.

### ENJEU

### INTÉGRATION



- + Intégration possible de modules de production solaire au niveau des infrastructures de protection antibruit.

<sup>177</sup> Pompes à Chaleur & Environnement Acoustique – Recommandations pour la mise en œuvre des pompes à chaleur – Fiche technique n°1 – AFPAC 8 pages – Juillet 2011 et Pompes à Chaleur & Environnement Acoustique – Les bonnes pratiques d'installation – Fiche technique n°2 AFPAC – 12 pages Février 2012

<sup>178</sup> La filière géothermie basse et très basse énergie peut être envisagée afin d'éviter les PAC aérothermiques, qui génèrent davantage de bruit

<sup>179</sup> Murs antibruit photovoltaïques – Photovoltaïque.info – 2010



4 <sup>1</sup>	LA LISTE DES CAS CONCRETS, FOCUS ET TÉMOIGNAGES	154
4 <sup>2</sup>	DONNÉES, OUTILS DE PRÉVISION ET DE MESURE RELATIFS AUX ÉMISSIONS DES VÉHICULES	156

## 4.1 I LA LISTE DES CAS CONCRETS, FOCUS ET TÉMOIGNAGES

<i>Il y a plus de bruit routier qu'avant ?</i>	22
<i>Témoignage d'Hélène Dourneau, chef de projet vulnérabilités urbaines et aménagement durable à Bordeaux Métropole</i>	25
<i>Grenoble Alpes Métropole : évaluation des effets acoustiques du PDU de l'agglomération grenobloise</i>	26
<i>Exemple d'arbre des conséquences appliqué au cas des Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)</i>	29
<i>Eurométropole de Strasbourg - Quartier des Deux-Rives : intégration des impacts sanitaires dans la réflexion sur la planification urbaine</i>	32
<i>Témoignage de Camille Payre, ingénieur de recherche à l'Institut européen de recherche sur l'énergie (EIFER, Karlsruhe, Allemagne)</i>	36
<i>Témoignage de Françoise Schaetzel, Conseillère municipale, Conseillère eurométropolitaine déléguée, Conseillère de la commune de Strasbourg : intérêt d'une évaluation d'impact sanitaire dès la phase de conception</i>	38
<i>Intégrer le bruit comme déterminant dans les démarches globales d'analyse d'un "environnement favorable à la santé" et facteur de qualité de vie</i>	40
<i>Estimation des années de vie en bonne santé perdues en raison du bruit des transports sur le territoire de Grenoble Alpes Métropole</i>	44
<i>L'expérience de la plateforme ORHANE</i>	48
<i>Saint-Étienne Métropole : utilisation d'ORHANE pour le porter à connaissance des services sur les zones à enjeux de qualité de l'air et de bruit</i>	50
<i>Plateforme mutualisée d'aide au diagnostic environnemental (PlaMADE)</i>	50
<i>Perpignan-Méditerranée Communauté urbaine (PMCU) : étude de la possibilité d'utiliser une même base de données pour des simulations de la qualité de l'air et de bruit du PDU de l'agglomération grenobloise</i>	51
<i>Métropole européenne de Lille : premier PPBE incluant la prise en compte de la qualité de l'air</i>	54
<i>Cartographie du cumul de nuisances et pollutions environnementales en région Île-de-France</i>	56
<i>Ville de Lille : modélisation 3D Air et Bruit du quartier Faubourg de Béthune</i>	59
<i>Exemple de forme urbaine en adéquation avec la présence d'une voie de tram et d'un axe routier bruyant</i>	68
<i>Résumé du guide du Cerema "Du calme en ville, aménager en faveur du bien-être"</i>	70
<i>ZAC de la Ceriseraie à Fresnes</i>	74
<i>Le projet d'aménagement du quartier de Mérignac Marne</i>	76-77
<i>PLUi de Bordeaux Métropole : règle dérogatoire pour prise en compte du bruit dans le périmètre des voies bruyantes</i>	79
<i>PLU de Lille : exemple de prise en compte du bruit dans un règlement de PLU</i>	80

<i>La végétalisation des grandes villes : des bienfaits avérés</i>	86
<i>Certaines espèces d'arbre réagissent l'été avec les polluants atmosphériques, au détriment de la qualité de l'air !</i>	88
<i>Les tramways verts : ils roulent sur des plateformes végétalisées</i>	91
<i>Modélisation acoustique d'une voie de tramway en site propre dans une rue type "canyon" : cas du projet de prolongement du tramway "Route de Toulouse" à Bordeaux</i>	92
<i>La gestion des vitesses des véhicules routiers</i>	98
<i>Les bienfaits de l'usage des transports collectifs</i>	99
<i>Évaluation des politiques de transport par la modélisation combinée de la qualité de l'air et du bruit : étude de cas sur le PPA d'IdF (Cerema)</i>	100
<i>Communauté Urbaine du Grand Reims : politique globale de recherche d'actions convergentes de gestion du bruit et de diminution de la pollution atmosphérique</i>	102
<i>La circulation limitée aux hautes vitesses en Europe</i>	107
<i>Témoignage de Céline ANTUNES : "C'est prouvé, le niveau sonore baisse lorsque la vitesse est réduite de 50km/h à 30 km/h"</i>	109
<i>Abaissement de la vitesse limitée sur les voies rapides en Europe</i>	111
<i>Les ZRC et les LEZ</i>	116
<i>Mesures simultanées air/bruit pour évaluer l'impact de la circulation alternée sur la Métropole de Lyon</i>	117
<i>Les Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) se développent</i>	122
<i>Aix-Marseille Provence : suivi environnemental Air et Bruit du projet de création de la ligne de Bus à Haut Niveau de Service "AixPress"</i>	123
<i>Les autobus urbains et leurs motorisations</i>	132
<i>Protection contre les bruits extérieurs : exemple d'application de l'arrêté du 13 avril 2017</i>	142
<i>Dunkerque Grand Littoral : couplage des dispositifs Prev'Bruit et Reflex Énergie</i>	145
<i>Aix-en-Provence : dispositif d'aide directe aux particuliers pour l'amélioration thermique et acoustique des logements</i>	147
<i>Strasbourg : réhabilitation thermique et acoustique de l'école primaire Louvois</i>	148



## 4.2

## LES DONNÉES, OUTILS DE PRÉVISION ET DE MESURE RELATIFS AUX ÉMISSIONS DES VÉHICULES

### 4.2.1 Deufrabase de l'IFSTTAR

La Deufrabase est un outil en ligne de simulation des propriétés acoustiques de revêtements routiers. Cette base de données en libre accès est issue d'une collaboration entre l'IFSTTAR et le BAST, dans le cadre de la coopération franco-allemande en recherche sur les transports (Deufrako), avec le soutien de l'ADEME.

Le principal objectif de cet outil est de mettre à disposition des collectivités territoriales et des bureaux d'études un corpus de données précalculées permettant d'estimer les gains acoustiques apportés par différents revêtements de chaussée, pour un grand nombre de configurations routières et de typologies environnementales.

L'outil se distingue par sa fiabilité (modélisation par la méthode des éléments finis, complétée par de nombreuses mesures in situ), par son exhaustivité (le nombre d'enrobés présents dans la base couvre la quasi-totalité des revêtements de chaussée existants) et par sa simplicité d'utilisation (quelques prérequis en acoustique et connaissances sur les enrobés routiers sont toutefois nécessaires).

Différentes vitesses, pourcentages de poids lourds, distance entre la source et le récepteur peuvent être évalués, ainsi que plusieurs types de profils en travers et d'état de surface aux abords de la route. L'outil est pour l'instant applicable au seul cas des axes de transport en milieu ouvert, mais une version urbaine devrait voir le jour prochainement.

Adresse web de la plateforme :  
<http://deufrabase.ifsttar.fr>

### 4.2.2 Outil PreDIR

Outil de visualisation numérique développé par le Cerema permettant de dresser une cartographie de la sensibilité acoustique d'un "réseau routier". Il fournit les données suivantes : zones affectées par le bruit au voisinage de la route ; bâtiments sensibles ; tronçons de la chaussée qualifiés en fonction de leur sensibilité, en mettant en évidence ceux où des revêtements bruyants sont à proscrire.

Pour en savoir plus : [www.cerema.fr/fr/projets/predir-outil-cartographique-reveler-sensibilite-acoustique](http://www.cerema.fr/fr/projets/predir-outil-cartographique-reveler-sensibilite-acoustique)

### 4.2.3 Quelques logiciels de modélisation mixte acoustique et qualité de l'air

- Cadnaa (qui comporte un module "air")
- SoundPLAN, interface logicielle commune Acoustique et Pollution de l'air
- Fluydin-Panache et Fluydin-DB

### 4.2.4 Surveillance de la pollution atmosphérique et sonore

- Initiatives de déploiement de stations de mesure multicapteurs :
  - observatoire air/bruit/trafic de Bruitparif mis en place à Pantin ([www.bruitparif.fr](http://www.bruitparif.fr))
  - mesures simultanées Air et Bruit d'Acoucité ([www.acoucité.org](http://www.acoucité.org))
- Application Ambiciti : service d'itinéraire permettant de choisir un déplacement piéton minimisant l'exposition au bruit ou à la pollution atmosphérique ([www.ambiciti.io](http://www.ambiciti.io)).





## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr) ou suivez-nous sur @ademe.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

*L'ADEME catalyseur* : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

*L'ADEME expert* : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### FAITS ET CHIFFRES

*L'ADEME référent* : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

*L'ADEME facilitateur* : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### HORIZONS

*L'ADEME tournée vers l'avenir* : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



## RÉSUMÉ

En septembre 2016, l'ADEME a lancé un appel à manifestation d'intérêt (AMI) "PCAET et Bruit" auprès des EPCI, afin de favoriser l'expérimentation de l'articulation convergente des actions Climat, Air, Énergie, Bruit notamment via les deux plans PCAET et PPBE, appliquée à la planification territoriale et à l'aménagement. Six territoires candidats ont été sélectionnés : Aix-Marseille - Provence, Bordeaux Métropole, Dunkerque Grand Littoral, Grenoble - Alpes Métropole, Paris - Saclay et Saint-Étienne Métropole. Durant 18 mois, les projets variés portés par ces territoires ont été analysés afin de proposer des pistes d'action et des conseils méthodologiques qui permettent de faire converger les réponses aux enjeux climat, air, énergie et bruit.

Ce guide pose les bases de cette réflexion en s'appuyant notamment sur cette expérimentation. On y trouve des repères réglementaires, des ressources, des éléments de compréhension des enjeux, ainsi que des fiches focus, témoignages et cas concrets. Il se veut un outil d'aide à la compréhension des enjeux inhérent à la planification intégrées climat, air énergie et bruit, et s'adresse principalement aux collectivités et aux acteurs de l'ingénierie territoriale.

*Comment les actions en faveur de l'environnement sonore et celles contre le changement climatique peuvent-elles s'articuler ?*

*L'amélioration de l'environnement sonore et la maîtrise de l'énergie sont-elles compatibles ?*

*Les actions pour la qualité de l'air et l'environnement sonore peuvent-elles converger ?*

*Comment intégrer le bruit dans les PCAET ?*

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

[www.ADEME.fr](http://www.ADEME.fr)



010618

ISBN 979-1-02971-132-9



9 791029 711329