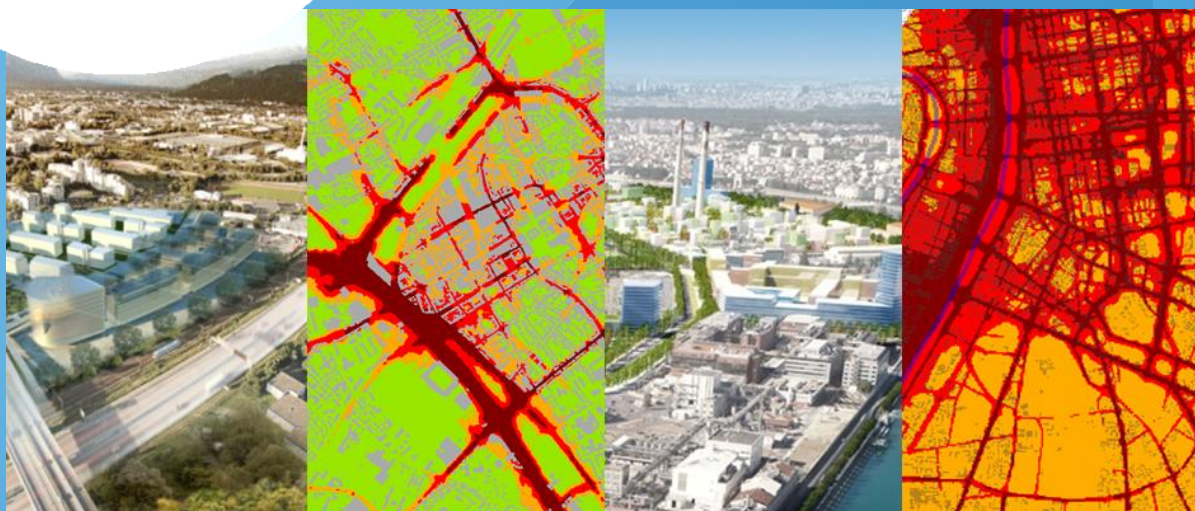


# Analyse des inégalités environnementales

## Méthodologie d'élaboration d'un indicateur de qualité de l'air spatialisé



**RAPPORT METHODOLOGIQUE - 2014**

[www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)



**Diffusion : novembre 2014**

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64

[contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)





## CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998*) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes. Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Air Rhône-Alpes (2014) **Analyse des inégalités environnementales - Méthodologie d'élaboration d'un indicateur de qualité de l'air spatialisé.**

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)
- par mail : [contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante <http://www.surveymonkey.com/s/ecrits> pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière de la Région Rhône-Alpes



Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Air Rhône-Alpes.

# Sommaire



1. Contexte et objectif.....	5
1.1. Contexte et périmètre de l'étude .....	5
1.2. Objectif.....	5
2. Les outils de modélisation permettant de cartographier la concentration des principaux polluants atmosphériques .....	6
3. Elaboration d'un indicateur « Qualité de l'air » spatialisé .....	7
3.1. Le choix des « variables pollutions » à intégrer dans l'indicateur.....	7
Le choix des « variables pollutions » : quelles valeurs de références ?.....	7
Une limite technique des cartographies sources .....	8
Les méthodes proposées et perspectives.....	9
3.2. Sélection/production d'une carte unique représentative de l'exposition chronique pour chaque variable pollution.....	9
Le « problème » : les niveaux de polluants sont variables d'une année à l'autre .....	9
La méthode proposée.....	10
3.3. Normalisation de la carte de chaque variable pollution .....	12
Le « problème » : les différentes variables pollutions ne sont pas homogènes.....	12
Méthode proposée.....	12
3.4. Agrégation des variables pollutions .....	12
3.5. Synthèse et perspectives .....	14
4. Valorisation de la couche « qualité de l'air » .....	17
4.1. Discrétisation pour augmenter la lisibilité .....	17
4.2. Calcul de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique .....	18
4.3. Établissements sensibles ou projets d'aménagements.....	18
4.4. Croisement avec des données socio-économiques (indicateur de défaveur sociale)... ..	19
Etape préalable de traitement de l'indicateur « qualité de l'air » : agrégation spatiale à l'échelle de l'IRIS .....	19
Illustration du principe de croisement de l'indicateur « qualité de l'air » avec l'indice de Townsend .....	21
5. Conclusion et perspectives.....	23



# Résumé



**Généralités.** La réduction des inégalités environnementales sur les territoires est une préoccupation majeure des pouvoirs publics qui s'exprime notamment au travers du Plan National Santé Environnement et de ses déclinaisons régionales, notamment en Rhône-Alpes. Toutefois, aujourd'hui le manque de données et de méthodologies opérationnelles rendent difficiles l'établissement de diagnostics et la définition d'actions de remédiation des inégalités environnementales.

**Périmètre de l'étude.** L'analyse des inégalités environnementales repose sur l'analyse de données spatialisées (couches géographiques) concernant l'exposition aux nuisances environnementales (qualité de l'air, nuisances sonores...) et leur lien éventuel avec des données d'autres natures (socio-économiques, localisation des établissements sensibles etc.). Les travaux présentés dans ce rapport concernent exclusivement la construction d'une couche géographique décrivant de manière synthétique la « qualité de l'air », les autres nuisances environnementales ne sont pas abordées.

**Résultat 1.** Les travaux présentés dans ce document ont permis **d'explorer différentes méthodologies d'élaboration d'un indicateur « qualité de air » spatialisé** et d'identifier les paramètres essentiels à la construction d'un indicateur adapté à l'étude des inégalités environnementales. L'indicateur jugé le plus adapté est aujourd'hui disponible sur les agglomérations de Grenoble et Lyon et il sera produit sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes en 2015.

**Résultat 2.** L'indicateur « qualité de l'air » spatialisé a été exploité afin d'illustrer **des applications opérationnelles** : cartographie simplifiée permettant de communiquer facilement sur la question de la pollution atmosphérique, croisement avec des données de différentes natures (population générale, établissements sensibles, indicateur de défaveur sociale etc.).

**Perspective.** Les indicateurs proposés reposent essentiellement sur les polluants et les seuils réglementaires qui, au vu des données les plus récentes, ne paraissent pas toujours être les descripteurs les plus adaptés de l'impact sanitaire. Ainsi, il apparaît nécessaire qu'Air Rhône-Alpes, qui a une forte culture « réglementaire » mais ne dispose pas des compétences nécessaires dans le domaine de la santé, s'associe à des experts du domaine **en vue d'élaborer un indicateur « qualité de l'air » décrivant au mieux les effets sur la santé.**



# 1. Contexte et objectif

## 1.1. Contexte et périmètre de l'étude

**Généralités.** La réduction des inégalités environnementales sur les territoires est une préoccupation majeure des pouvoirs publics qui s'exprime notamment au travers du Plan National Santé Environnement et de ses déclinaisons régionales, notamment en Rhône-Alpes. Toutefois, aujourd'hui le manque de données et de méthodologies opérationnelles rendent difficiles l'établissement de diagnostics et la définition d'actions de remédiation des inégalités environnementales.

**Périmètre de l'étude.** L'analyse des inégalités environnementales repose sur l'analyse de données spatialisées (couches géographiques) concernant l'exposition aux nuisances environnementales (qualité de l'air, nuisances sonores...) et leur lien éventuel avec des données d'autres natures (socio-économiques, localisation des établissements sensibles etc.). Les travaux présentés dans ce rapport concernent exclusivement la construction d'une couche géographique décrivant de manière synthétique la « qualité de l'air », les autres nuisances environnementales ne sont pas abordées<sup>1</sup>.

**Les indicateurs de qualité de l'air : au cœur d'une démarche globale d'Air Rhône-Alpes.** Les réflexions menées dans le cadre de cette étude ont alimenté différents projets conduits par Air Rhône-Alpes et portant sur la question de l'élaboration d'un indicateur « qualité de l'air ». Il est notamment possible de mentionner : des projets visant à produire une cartographie de la qualité de l'air à l'attention des aménageurs pour une meilleure prise en compte de la qualité de l'air dans l'urbanisme (démarche nationale : Carte Stratégique Air ; démarche de Grenoble Alpes Métropole : carte de vigilance air), projet d'établissement d'une cartographie multi-polluant permettant de fournir une indication synthétique au grand public (via le futur site web d'Air Rhône-Alpes), la plateforme « Air/Bruit » ORHANE (financement Région Rhône-Alpes/Etat).

**La question clé : comment produire un couche « qualité de l'air » unique ?** La pollution atmosphérique est un type de pollution caractérisé par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air. Cette dégradation est causée par un ensemble de polluants atmosphériques dont les niveaux varient dans le temps (e.g. selon les conditions météorologiques, le niveau de particules fines peut être assez différent d'une année à l'autre). Or, l'analyse des inégalités environnementales demande de disposer d'une couche « qualité de l'air » unique et représentative de l'exposition chronique. Ainsi, la réflexion exposée dans ce rapport porte essentiellement sur deux points :

- Quels sont les polluants à intégrer dans l'indicateur « qualité de l'air » ?
- La représentativité temporelle : comment produire un indicateur représentatif d'une exposition chronique ?

## 1.2. Objectif

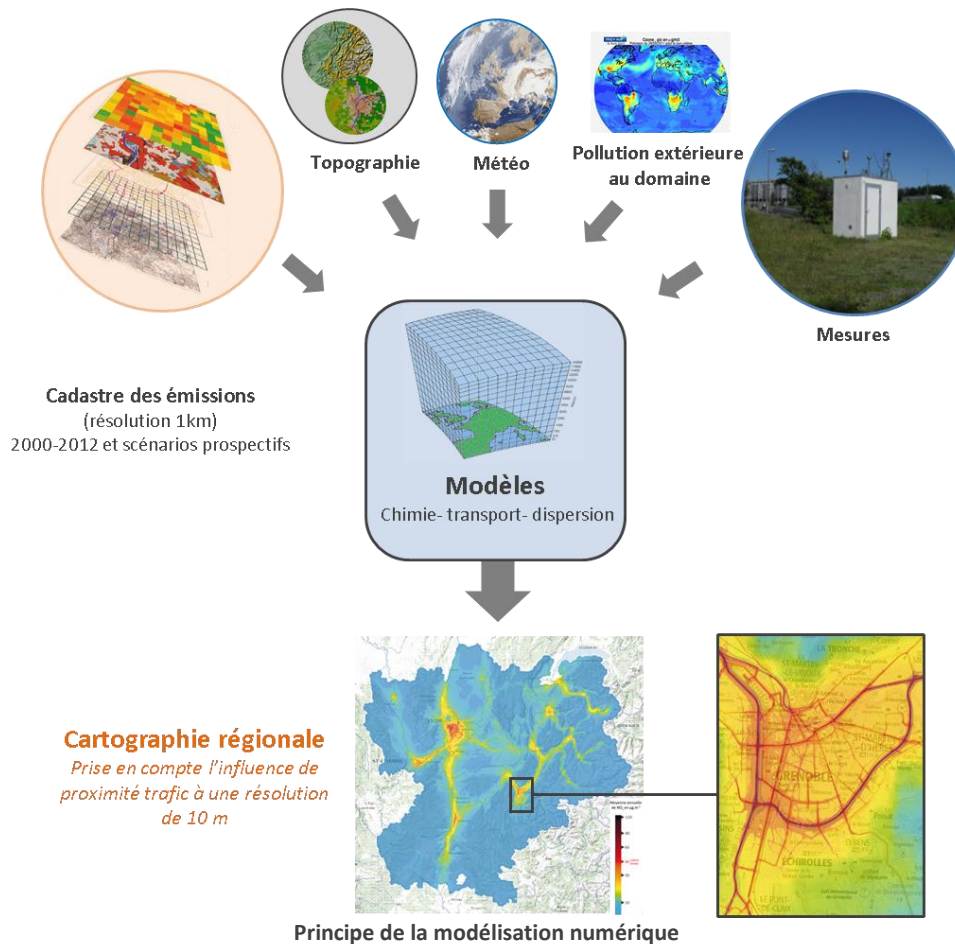
Les travaux présentés dans ce document visent à **explorer différentes méthodologies d'élaboration d'un indicateur « qualité de air » spatialisé** et à identifier les paramètres essentiels à la construction d'un indicateur adapté à l'étude des inégalités environnementales. Secondairement, et dans le but **d'illustrer les applications opérationnelles** de ces résultats, l'indicateur « qualité de l'air » spatialisé a été croisé avec des données de différentes natures : population générale, établissements sensibles, indicateur de défaveur sociale etc.

---

<sup>1</sup> NB : Air Rhône-Alpes a engagé un projet avec le CEREMA visant à établir un indicateur Air/bruit qui sera mis à disposition courant 2015 via la plateforme ORHANE

## 2. Les outils de modélisation permettant de cartographier la concentration des principaux polluants atmosphériques

L'évaluation des inégalités environnementales est basée sur le croisement de couches géographiques dans un SIG (système d'information géographique). Air Rhône-Alpes développe et maintient une chaîne de modélisation numérique qui permet d'établir des **cartographies des principaux polluants atmosphériques** présentant un enjeu réglementaire (dioxyde d'azote, ozone (O<sub>3</sub>), particules en suspension PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, benzo(a)pyrène (B(a)P). Ces cartographies constituent la donnée élémentaire qui permettra de construire une couche « qualité de l'air » unique. La modélisation peut concerner une situation passée, actuelle ou future. Le principe de la modélisation est illustré ci-après.



Le **modèle numérique** (au centre de la figure) simule les mécanismes atmosphériques à l'origine de la transformation et du transport des polluants et permet de calculer la concentration des polluants en tout point du territoire et pour chaque heure de l'année. La résolution spatiale du modèle numérique (Cartoprox) est de 1 km en dehors des agglomérations et à distance des axes routier et de 10 m à l'intérieur des agglomérations et en proximité routière.

Ce modèle, alimenté par un **inventaire spatialisé des émissions**, prend en compte les polluants exogènes à la région. Une modélisation de la qualité de l'air à l'échelle européenne permet de fournir les **conditions aux limites** du domaine du modèle régional.

Les **conditions météorologiques** affectent fortement les niveaux de polluants et constituent donc également une donnée d'entrée essentielle du modèle de qualité de l'air. Le modèle météo WRF (Weather Research and Forecasting) est utilisé pour alimenter le modèle de qualité de l'air.

La **topographie** d'un territoire contraint fortement les conditions de dispersion et est directement prise en compte dans la modélisation de la qualité de l'air.



### 3. Elaboration d'un indicateur « Qualité de l'air » spatialisé

La section suivante explore de manière systématique les différentes étapes de la construction d'un indicateur « qualité de l'air » unique et propose une discussion sur les différentes options méthodologiques. L'élaboration d'un indicateur multi-polluants repose sur 5 étapes :

1. Le choix des polluants à intégrer dans l'indicateur et des variables associées (e.g. moyenne annuelle ou nombre de pics ?).

*Note sur vocabulaire : dans la suite du document, la variable associée au polluant est appelée « variable pollution ». A chaque polluant peut correspondre plusieurs « variables pollutions ». Exemple de variables pollutions : moyenne annuelle de  $PM_{10}$ , nombre de jours de dépassement de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière pour les  $PM_{10}$ .*

2. Pour chaque variable pollution, sélection ou construction d'une carte unique représentative de l'exposition chronique
3. Normalisation de la carte de chaque variable pollution (nécessaire à l'étape 4)
4. Agrégation des variables pollutions

#### 3.1. Le choix des « variables pollutions » à intégrer dans l'indicateur

##### Le choix des « variables pollutions » : quelles valeurs de références ?

**L'approche la plus directe : fonder le choix des « variables pollutions » sur la réglementation européenne.** La réglementation européenne définissant les seuils réglementaires constitue le référentiel le plus évident permettant d'identifier les polluants significatifs à inclure dans un indicateur « qualité de l'air ». Les Directives Européennes DE 2008/50/CE et DE 2004/107/CE fixent les seuils réglementaires pour les polluants réglementés : dioxyde de soufre ( $SO_2$ ), dioxyde d'azote ( $NO_2$ ), ozone ( $O_3$ ), particules en suspension ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ ), monoxyde de carbone (CO), benzène ( $C_6H_6$ ), plomb (Pb), arsenic (As), Cadmium (Cd), nickel (Ni), benzo(a)pyrène (B(a)P ; voir [synthèse](#) sur le site internet d'Air Rhône-Alpes).

**Un indicateur basé sur les seuils réglementaires est-il un « bon » indicateur d'impact sanitaire ?** La réglementation européenne a l'objectif explicite de protéger la santé des populations et, à l'exception notable du mercure (Hg), tous les polluants atmosphériques majeurs font l'objet d'un ou plusieurs seuils réglementaires. En revanche, il est possible d'interroger la pertinence « sanitaire » de :

- La valeur des seuils réglementaires elle-même. En effet, de manière générale le seuil réglementaire est notablement plus élevé que la [valeur proposée par l'OMS](#) (e.g. dans le cas des  $PM_{10}$  : valeur limite =  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ; valeur guide OMS =  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- La variable utilisée. La réglementation prévoit pour les principaux polluants ( $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  et  $SO_2$ ) deux types de seuils : l'un basé sur la concentration moyenne annuelle et l'autre basé sur une valeur de « pic » (horaire ou journalière). Par exemple, dans le cas des  $PM_{10}$ , la valeur limite de « pic » ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en valeur journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) est généralement dépassée en situation de proximité trafic en Rhône-Alpes alors que la valeur limite « en moyenne annuelle » ne l'est pratiquement jamais. Pourtant, le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) explique dans le document « Pollution par les particules dans l'air ambiant » publié en 2012<sup>2</sup> que la priorité doit être donnée à la réduction des expositions chroniques (moyenne annuelle ou pollution de fond) pour lutter efficacement contre les particules en suspension et garantir ainsi une meilleure qualité de l'air sur le long terme, plutôt qu'aux épisodes ponctuels. Il apparaît donc que la réglementation, dans

<sup>2</sup> HCSP, <http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=265>

certain cas, ne reflète pas nécessairement les connaissances les plus récentes en termes d'impact sanitaire.

- L'absence de prise en compte des effets synergiques de la co-exposition (exposition conjointe à plusieurs polluants).

**Perspective : construire un indicateur basé sur les connaissances les plus à jour concernant l'impact sanitaire des polluants atmosphériques.** Les effets sur la santé des polluants atmosphériques sont de mieux en mieux connus, que ce soit dans le cas d'expositions de courte durée (expositions aiguës) ou d'expositions à moyen et à long terme (expositions sub-chroniques et chroniques)<sup>3, 4, 5, 6</sup>. Ainsi, des données robustes sur l'impact sanitaire des différents polluants sont disponibles et pourraient servir de base à l'élaboration d'un indicateur « qualité de l'air » décrivant plus fidèlement l'effet sur la santé qu'un indicateur fondé exclusivement sur les seuils réglementaires.

Toutefois, il convient de noter qu'Air Rhône-Alpes, en tant qu'AASQA (association agréée de surveillance de la qualité de l'air), a une forte culture « réglementaire » mais ne dispose pas des compétences nécessaires dans le domaine de la santé. Ce travail devrait donc être mené en relation avec des experts des effets sanitaires de la pollution atmosphérique (INSERM, INVS).

### Une limite technique des cartographies sources

**L'influence des sites industriels n'est pas décrite à haute résolution spatiale.** Les outils de modélisation utilisés en routine par Air Rhône-Alpes couvrent les principaux polluants atmosphériques présentant un enjeu réglementaire (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, B(a)P). Toutefois, il convient de noter qu'aujourd'hui les outils de modélisation d'Air Rhône-Alpes présentent deux types de limite :

- Certains polluants industriels tels que les dioxines et métaux lourds font l'objet d'une surveillance météorologique et de modélisations fines dans le cadre de projets spécifiques mais ne sont pas intégrés dans les outils de modélisation de routine.
- Les émissions industrielles ne sont pas prises en compte en haute résolution spatiale. Les cartographies établies par modélisation ne permettent donc pas de caractériser l'exposition de proximité aux sites industriels. En effet, aujourd'hui seules les émissions du trafic routier sont modélisées finement (les émissions industrielles sont prises en compte à une résolution kilométrique).

Ainsi, aujourd'hui, les données disponibles permettant de construire un indicateur « qualité de l'air » ne couvrent pas tous les polluants industriels et ne prennent pas en compte l'influence des émissions industrielles à haute résolution spatiale. L'indicateur basé sur ces données sources « héritera » nécessairement de ces limites.

**Perspectives.** Outre l'évolution des outils de modélisation d'Air Rhône-Alpes, la prise en compte des émissions industrielles dans un indicateur est délicate. Une approche pourrait toutefois consister à construire un indicateur sur la base des données d'émissions (sur le principe de l'approche mise en œuvre dans le cadre de la plateforme PLAINE<sup>7</sup> de l'INERIS décrivant l'exposition aux métaux lourds). La possibilité d'intégrer des données relatives aux sites et sols pollués est intéressante, mais demeure délicate techniquement en absence de modélisation.

---

<sup>3</sup> [REVIHAAP 2013](#) (Review of evidence on health aspects of air pollution)

<sup>4</sup> [Fiche repère de l'Institut national du Cancer](#) (INCa) « Particules fines, dont diesel, et risque de cancer » (2013)

<sup>5</sup> [Aphekom](#) (Amélioration des connaissances et de la communication sur la pollution de l'air et la santé en Europe)

<sup>6</sup> [INVS](#) Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? (2013)

<sup>7</sup> [PLAINE](#) - INERIS



## Les méthodes proposées et perspectives

Air Rhône-Alpes a identifié deux groupes de « variables pollutions » qui ont été utilisés dans les tests présentés dans ce rapport :

**Sélection de « variables pollutions » en vue de construire un indicateur basé sur les seuils réglementaires.** Les variables pollutions sélectionnées correspondent à toutes les valeurs limites (VL ; seuil réglementaire dont le non-respect peut entraîner la condamnation par l'Europe de l'Etat en infraction) disponibles. En première approche, le choix s'est porté sur les VL les plus « sensibles » (car dépassées de manière chronique dans les agglomérations de Rhône-Alpes) : moyenne annuelle NO<sub>2</sub> et nombre de jours de dépassement de 50 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub>. Une procédure de contentieux européen est engagée pour les PM10 et à venir pour le NO<sub>2</sub>.

- Avantage de ce choix : Ce choix très « réglementaire » permet de prendre en compte les deux VL essentiellement problématique en Rhône-Alpes.
  - Limite de ce choix : Comme discuté dans la section 3.1.1, cet indicateur ne reflète pas nécessairement la connaissance la plus à jour sur l'impact sanitaire des polluants atmosphérique.
- ✓ *Dans la section 4 : la démarche est illustrée sur la base de l'indicateur construit avec cette méthode*

**Une tentative de tendre vers un indicateur davantage tournée vers l'impact sanitaire.** Un autre jeu de données a été sélectionné en vue de prendre en compte les données rapportées par le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) indiquant que la moyenne annuelle reflétait mieux l'exposition chronique que le nombre de pics. Les variables pollutions sélectionnées sont : la moyenne annuelle de NO<sub>2</sub>, moyenne annuelle PM<sub>10</sub> et moyenne annuelle d'O<sub>3</sub>. Cet indicateur sera notamment mis à disposition du grand public via le futur site web d'Air Rhône-Alpes.

## 3.2. Sélection/production d'une carte unique représentative de l'exposition chronique pour chaque variable pollution

### Le « problème » : les niveaux de polluants sont variables d'une année à l'autre

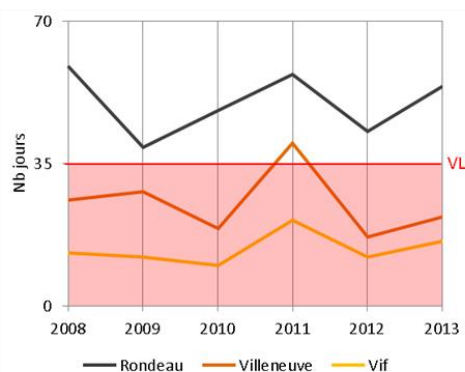
Les cartographies sources produites par modélisation sont réalisées de manière annuelle et portent sur des années civiles. Pour une variable pollution donnée, la cartographie varie d'une année à l'autre en fonction des variations interannuelles de deux facteurs :

- Les émissions (e.g. baisse progressive des émissions de NO<sub>x</sub> liée à l'évolution technologique de parc de véhicule ou fortes émissions de PM<sub>10</sub> par le chauffage une année où l'hiver est particulièrement long et froid) ;
- Les conditions météorologiques qui pilotent la dispersion des polluants (e.g. une longue période de stabilité atmosphérique en hiver alors que les émissions du chauffage sont importantes causera une forte élévation des niveaux de PM<sub>10</sub>).

La figure suivante illustre la variabilité interannuelle de la « variable pollution » nombre de jours de dépassement de 50 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub>.

## PM10 – nombre de jours pollués

3 stations de mesures de l'agglomération grenobloise



## PM10 – nombre de jours pollués

Agglomération grenobloise

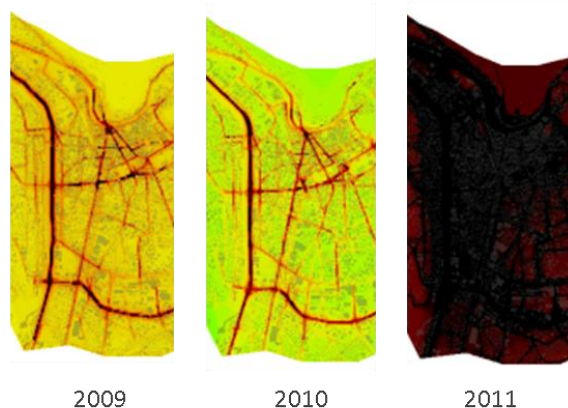


Illustration de la variabilité interannuelle de la variable pollution « nombre de jours de dépassement de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$ . A Gauche : évolution de 2008 à 2013 du nombre de jours au niveau de trois stations de l'agglomération grenobloise (Rondeau : station « trafic » ; Villeneuve : station de « fond urbain » ; Vif : station « péri-urbaine »). Le trait rouge indique le seuil réglementaire (valeur limite). A Droite : cartographie de la même variables pollution pour 3 années différentes (échelle de couleur identique).

Ainsi, compte tenu de la forte variabilité interannuelle des niveaux de polluants atmosphériques, il convient de sélectionner ou de produire une carte unique pour chaque variable pollution qui soit représentative de l'exposition chronique (et non d'une situation atypique).

### La méthode proposée

La méthode proposée pour la production d'une carte unique, représentative de l'exposition chronique, pour chaque variable pollution est la suivante :

**Etape 1.** Pour chaque variable pollution, sélectionner les cartes modélisées élaborées au cours des 5 années les plus récentes.

Justification de ce choix :

- Correspond à la fréquence d'actualisation de la CSA
- Correspond à la période fixée dans la DE 2008/50/CE pour déterminer le type de surveillance<sup>8</sup>
- Permet une « bonne » représentativité de la diversité des années météo.

**Etape 2.** Extraction d'une carte unique à partir de 5 années : pour chacune des variables pollution, il faut extraire la valeur correspondant à l'année médiane parmi les 5 années modélisées (i.e. la 3<sup>ème</sup> sur 5).

Justification de ce choix et méthodes alternatives testées

D'une manière générale, ce choix méthodologique permet d'exclure les années « atypiques ». En outre, ce choix est conforme à la règle fixée dans la DE 2008/50/CE permettant de déterminer le type de surveillance.

- ✓ Dans la section 4 : la démarche est illustrée sur la base de l'indicateur construit avec cette méthode

La figure suivante illustre cette étape de la méthodologie.

<sup>8</sup> DE 2008/50/CE, Annexe II, [...] un seuil d'évaluation est considéré comme ayant été dépassé s'il a été dépassé au moins 3 de ces 5 années [...]



### 3.3. Normalisation de la carte de chaque variable pollution

#### Le « problème » : les différentes variables pollutions ne sont pas homogènes

A ce stade de la méthodologie, une carte a été produite pour chaque variable pollution sélectionnée. Avant d'agrèger ces cartes en une carte unique, il convient de les « normaliser » (e.g. la variable « nombre des jours de dépassement de PM<sub>10</sub> » et la variable « moyenne annuelle de NO<sub>2</sub> » ne sont manifestement pas homogènes et il est nécessaire de les « mettre dans un référentiel commun » avant de les agréger). Cela demande de définir un niveau de référence pour chaque variable pollution.

#### Méthode proposée

**L'approche la plus directe : normaliser la valeur de la variable pollution par rapport à la valeur réglementaire.** De la même manière que pour la sélection des variables pollutions significatives (Cf. discussion de la section 3.1), le référentiel le plus évident et reconnu est la réglementation européenne. Ainsi, la méthode proposée consiste à normaliser la valeur de la variable pollution par rapport à la valeur réglementaire (la variable pollution est donc traduite en % de valeur réglementaire). Par exemple dans le cas de la moyenne annuelle de NO<sub>2</sub> dont la valeur limite est égale à 40 µg/m<sup>3</sup> : la valeur cartographiée (en µg/m<sup>3</sup>) est divisée par 40 µg/m<sup>3</sup> et multipliée par 100 afin de produire une cartographie de la moyenne annuelle de NO<sub>2</sub> exprimée en pourcent de valeur limite (%VL). Une fois que toutes les variables pollutions sont exprimées en pourcent du seuil réglementaire, il est possible de les agréger.

- ✓ Dans la section 4 : la démarche est illustrée sur la base de l'indicateur construit avec cette méthode

**Perspective : une méthode de normalisation prenant mieux en compte les connaissances les plus récentes sur l'impact sanitaire des polluants.** Comme discuté à la section 3.1, les seuils réglementaires ne constituent pas toujours le reflet des connaissances les plus récentes sur l'impact sanitaire des polluants et il serait intéressant de normaliser les variables pollutions sur la base d'autres seuils. La possibilité d'utiliser les valeurs guides de l'OMS est une option envisageable. Toutefois, comme discuté à la section 3.1, Air Rhône-Alpes a une forte culture « réglementaire » mais ne dispose pas des compétences nécessaires dans le domaine de la santé. Ce travail devrait donc être mené en relation avec des experts des effets sanitaires de la pollution atmosphérique (INSERM, INVS).

### 3.4. Agrégation des variables pollutions

Fondamentalement, il y a deux méthodes d'agrégation des cartes pour les différentes variables pollution en une carte unique.

**Méthode d'agrégation : « au maximum ».** Cette méthode consiste, pour chaque point du domaine cartographié, à sélectionner la valeur de la carte de variable pollution normalisée la plus élevée (e.g. si pour un point donné, la carte « moyenne NO<sub>2</sub> - %VL » donne la valeur 150 et la carte « nombre de jours de dépassement PM<sub>10</sub> - %VL » donne la valeur 175, la carte agrégée prendra la valeur 175 en ce point). Cette méthode a les propriétés suivantes :

- Cette méthode produit une carte avec une forte dimension réglementaire : elle permet de visualiser les dépassements réglementaires (si au moins une VL dépasse : la carte agrégée l'indiquera et aura une valeur supérieure à 100 aux points en dépassement)

- En revanche, cette méthode ne prend en compte la co-exposition (effet synergique de l'exposition simultanée à plusieurs polluants) puisqu'en chaque point c'est la variable pollution « max » qui « fait » la carte.
- ✓ Dans la section 4 : la démarche est illustrée sur la base de l'indicateur construit avec cette méthode

**Méthode d'agrégation : « moyenne ».** Cette méthode consiste, pour chaque point du domaine cartographié, à appliquer la valeur moyenne des différentes variables pollutions normalisées. Cette méthode a des propriétés complémentaires de la méthode d'agrégation « au maximum » :

- La carte produite ne permet pas de visualiser les dépassements réglementaires (si la variable pollution normalisée pour le NO<sub>2</sub> a la valeur 80%VL et la variable pollution normalisée pour le PM<sub>10</sub> a la valeur 110%VL ; la valeur agrégé sera de 95%VL et sera inférieure à 100% alors que la VL NO<sub>2</sub> est dépassée).
- En revanche, cette méthode permet de prendre en compte la co-exposition puisque chaque polluant « pèse » autant dans la valeur de l'indicateur agrégé. Il convient de noter que cette méthode peut être adaptée en pondérant de manière différente les différentes variables pollutions en fonction de données sur leurs impacts sanitaires relatifs (là encore ce travail demanderait d'initier une démarche collective intégrant des experts de la santé).

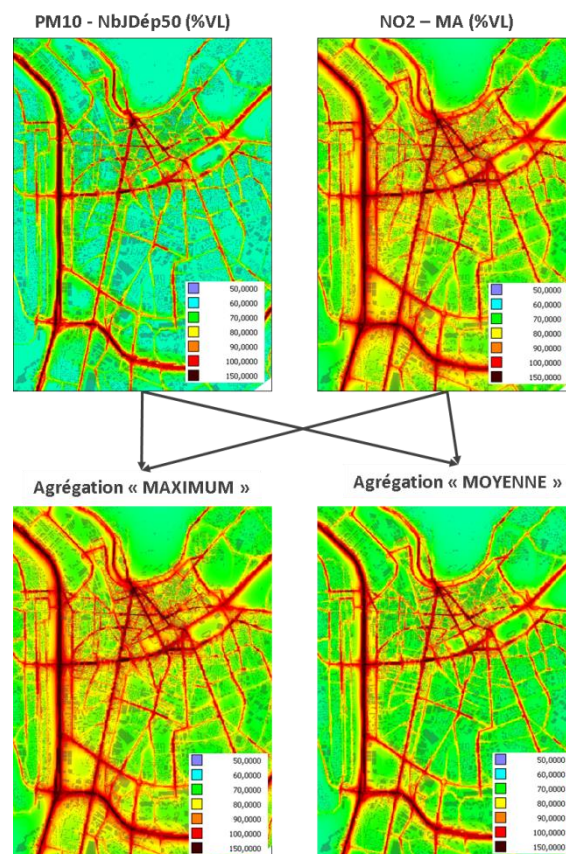


Illustration des deux méthodes d'agrégation dans le cas de deux variables pollutions (nombre de jours de dépassement PM10 et moyenne annuelle de NO<sub>2</sub>). L'agrégation « maximum » est majoritairement piloté par la carte « PM10 » et permet d'indiquer l'étendue des zones en dépassement réglementaire pour les PM10. L'agrégation moyenne permet de prendre en compte l'exposition conjointe aux deux polluants. Illustration basé sur le cas du cœur de l'agglomération grenobloise.

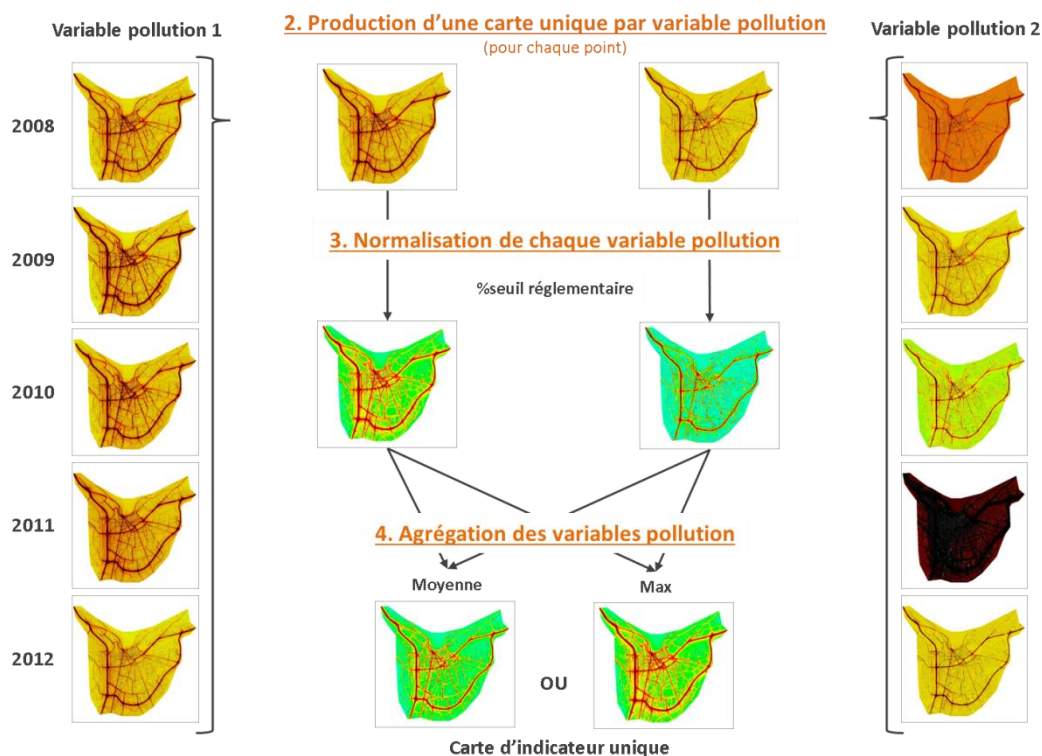


## 3.5. Synthèse et perspectives

### Synthèse des tests réalisés.

La figure ci-dessous illustre les différentes étapes de construction d'un indicateur « qualité de l'air » spatialisé décrites dans les paragraphes précédents.

#### 1. Choix des variables pollutions



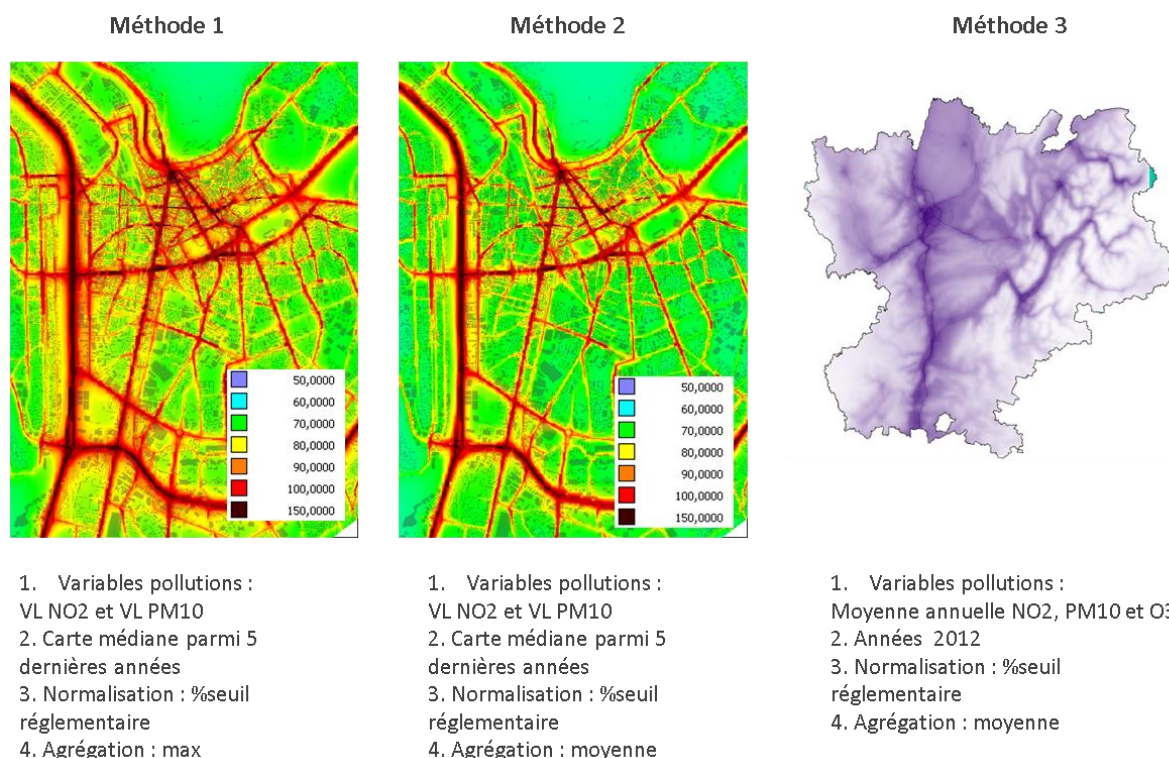
Les quatre étapes de construction d'un indicateur spatialisé de « qualité de l'air ». Illustration basée sur le cas du cœur de l'agglomération grenobloise.

Le tableau ci-dessous synthétise les étapes des trois méthodologies considérées les plus pertinentes dans le cadre de l'analyse des inégalités environnementales. Des éléments critiques et de perspectives sont également présentés.

Etape	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
1. Choix des variables pollutions	Les valeurs limites PM <sub>10</sub> et NO <sub>2</sub>	Les valeurs limites PM <sub>10</sub> et NO <sub>2</sub>	Moyenne annuelle pour les PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> et O <sub>3</sub>
2. Production d'une carte unique pour chaque variables pollution	Carte médiane parmi les 5 dernières années	Carte médiane parmi les 5 dernières années	Uniquement année 2012
3. Normalisation des différentes variables pollutions	% du seuil réglementaire	% du seuil réglementaire	% du seuil réglementaire
4. Agrégation des variables pollutions	maximum	Moyenne	moyenne
Commentaire	Méthode « très réglementaire » : Permet de visualiser les zones en dépassement réglementaire, mais ne prend pas en compte la co-exposition	L'indicateur est basé sur les seuils réglementaires et prend en compte la coexposition	L'indicateur est davantage tourné vers l'impact sanitaire que les méthodes 2 et 3 (mais à ce jour n'intègre qu'une seule année)



La figure ci-dessous illustre le résultat produit par l'application de ces trois méthodes.



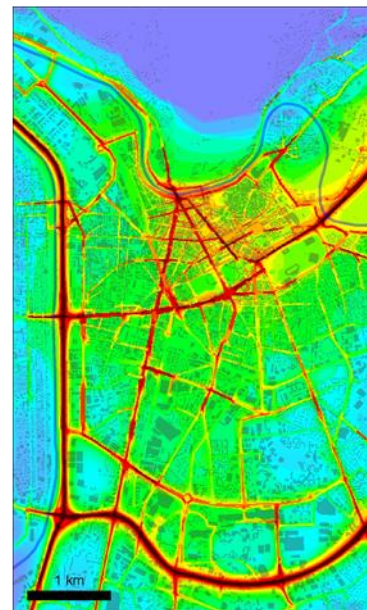
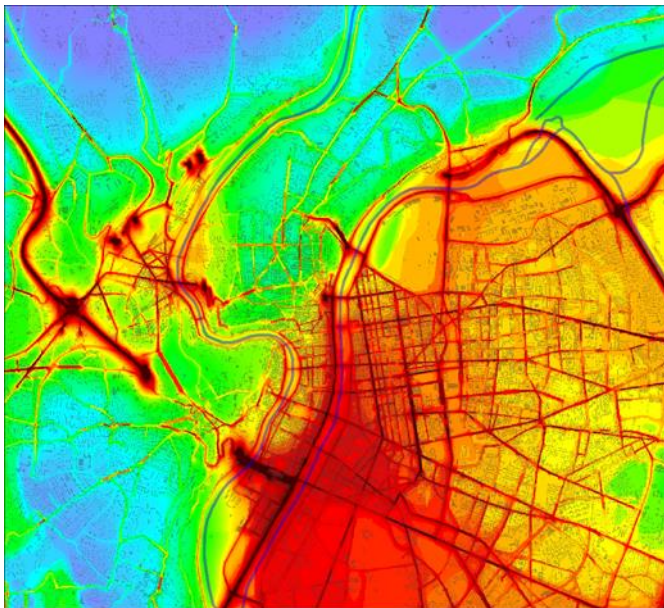
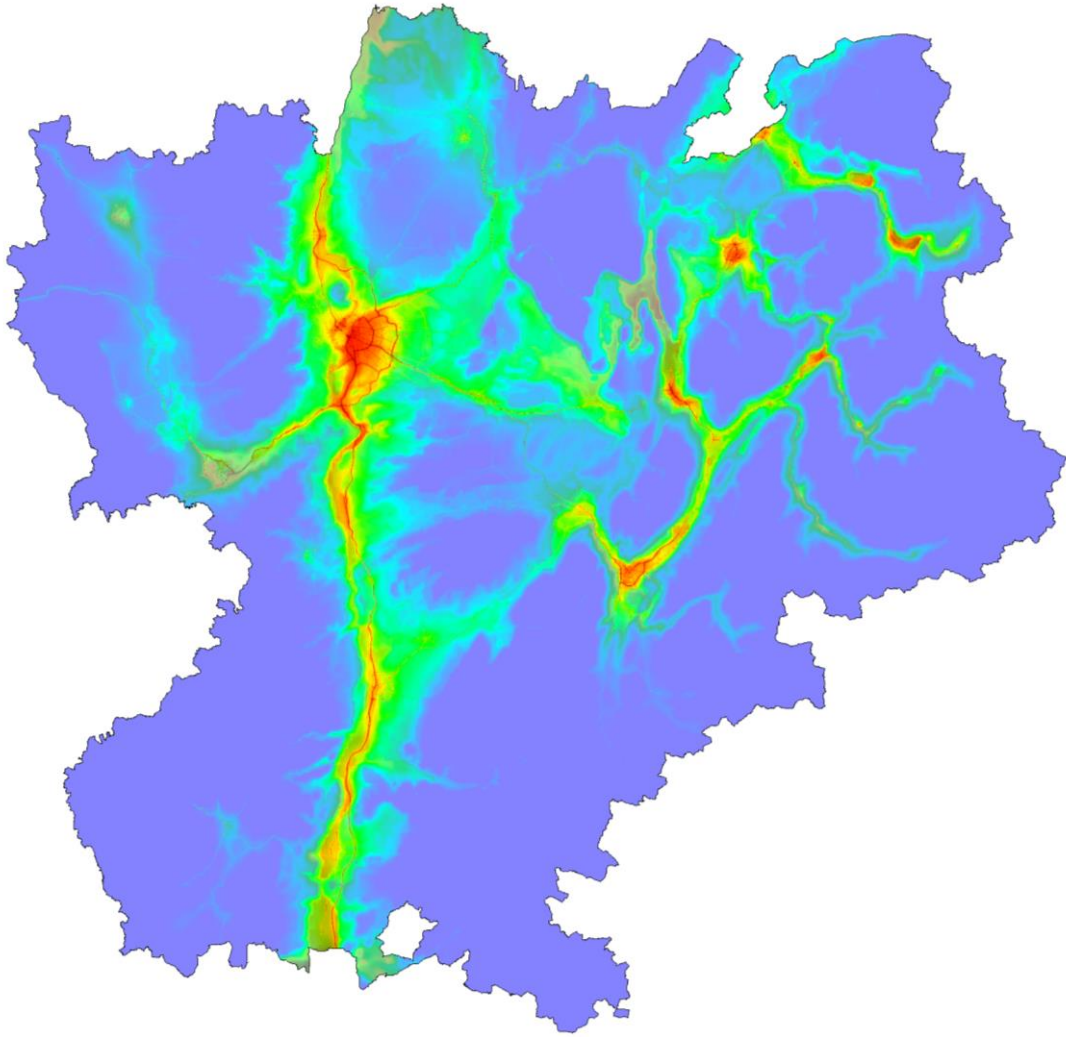
**Les résultats cartographiques produits par les trois méthodes proposées.**

*La méthode 3 n'a pour l'instant été appliquée qu'à une résolution spatiale de 100 m x 100 m qui est notablement plus faible que la résolution spatiale des cartographies produites par méthodes 1 et 2, elles ne sont donc pas directement comparables*

### Conclusion et perspectives

Le travail produit dans le cadre de ce projet a permis d'identifier les paramètres clés de la construction d'un indicateur. Il apparaît assez clairement qu'il n'y a pas une méthode unique et évidente permettant de construire un indicateur.

Aujourd'hui la méthode 1 est la plus aboutie techniquement et c'est elle qui a été utilisée pour produire les éléments de valorisation présentés dans la section 4. L'indicateur produit selon la méthode 1 est aujourd'hui disponible sur les agglomérations de Grenoble et Lyon et il sera produit sur l'ensemble de la région en 2015 dans le cadre de la démarche nationale Carte Stratégique Air » (Cf. Figure suivante). Toutefois, en parallèle, il convient de poursuivre la démarche d'élaboration d'indicateur « qualité de l'air » en associant des experts de la santé afin de produire un indicateur intégrant les connaissances les plus récentes concernant l'impact sanitaire.



Cartographie de l'indicateur « qualité de l'air » produit selon la méthode 1. En haut, à l'échelle de la région Rhône-Alpes. En bas à gauche, zoom sur l'agglomération de Lyon. En bas à droite : zoom sur l'agglomération grenobloise.

*La cartographie régionale est en version provisoire car toutes les données d'entrée ne sont pas disponibles à ce jour.*



## 4. Valorisation de la couche « qualité de l'air »

Cette section présente des exemples de valorisation de l'indicateur « qualité de l'air » spatialisé par croisement avec des couches géographiques de différentes natures : population générale, établissements sensibles, projets d'aménagement, indicateur de défaveur sociale. Il s'agit d'une présentation très générale qui vise à illustrer des applications opérationnelles de l'indicateur spatialisé produit.

Toutes les illustrations présentées dans cette section correspondent à une couche « qualité de l'air » construite sur la base de la méthode 1 (Cf. section 3.5).

### 4.1. Discrétisation pour augmenter la lisibilité

La couche « qualité de l'air » représente un indicateur exprimé en % de valeur limite et l'échelle de couleur appliquée est continue. Cette cartographie n'est pas toujours très lisible (Cf. ci-dessus). Dans certain cas, il peut être intéressant de faire un traitement visant à discrétiser cette donnée afin de simplifier la carte et de la rendre plus lisible. En outre, il est aussi possible d'utiliser une dénomination explicite des classes de qualité de l'air afin de les rendre plus intelligibles. Cette demande de simplification émerge souvent de la part du grand public ou des aménageurs qui ont besoin d'une information simplifiée. La figure ci-dessous illustre une proposition d'une telle simplification.

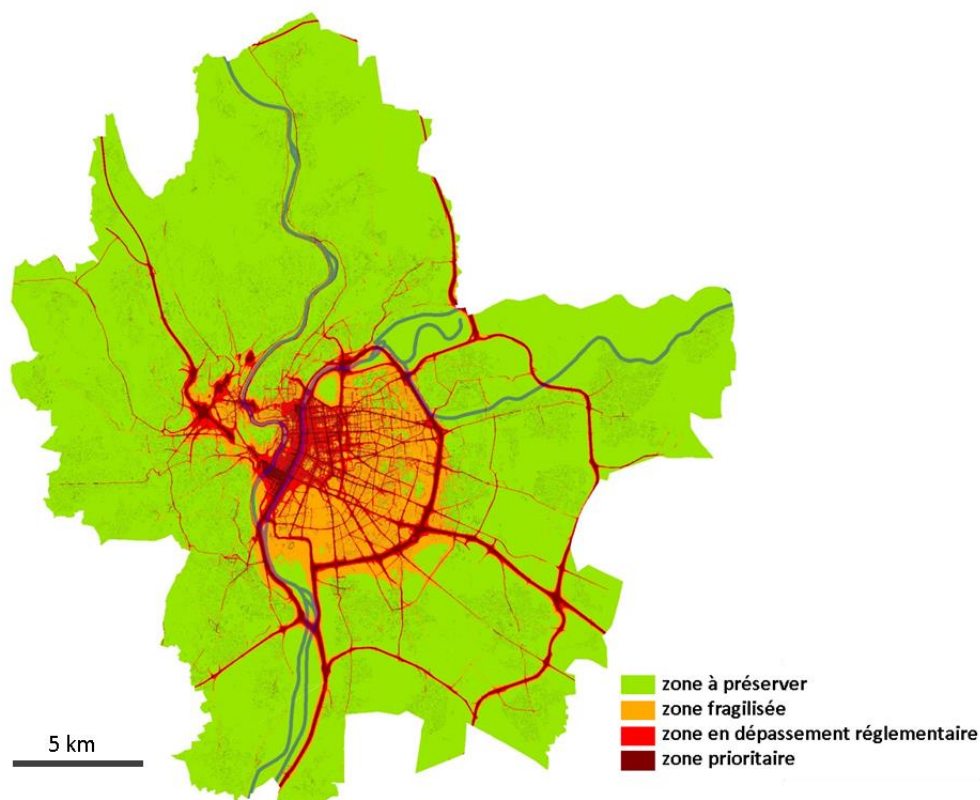


Illustration du résultat d'un traitement visant à simplifier la représentation cartographique de l'indicateur « qualité de l'air » établis selon la méthode 1 sur le territoire du Grand Lyon : information limitée à 4 niveaux de qualité de l'air et dénomination explicites des niveaux.

Ci-contre, les seuils appliqués pour définir les 4 classes de qualité de l'air.



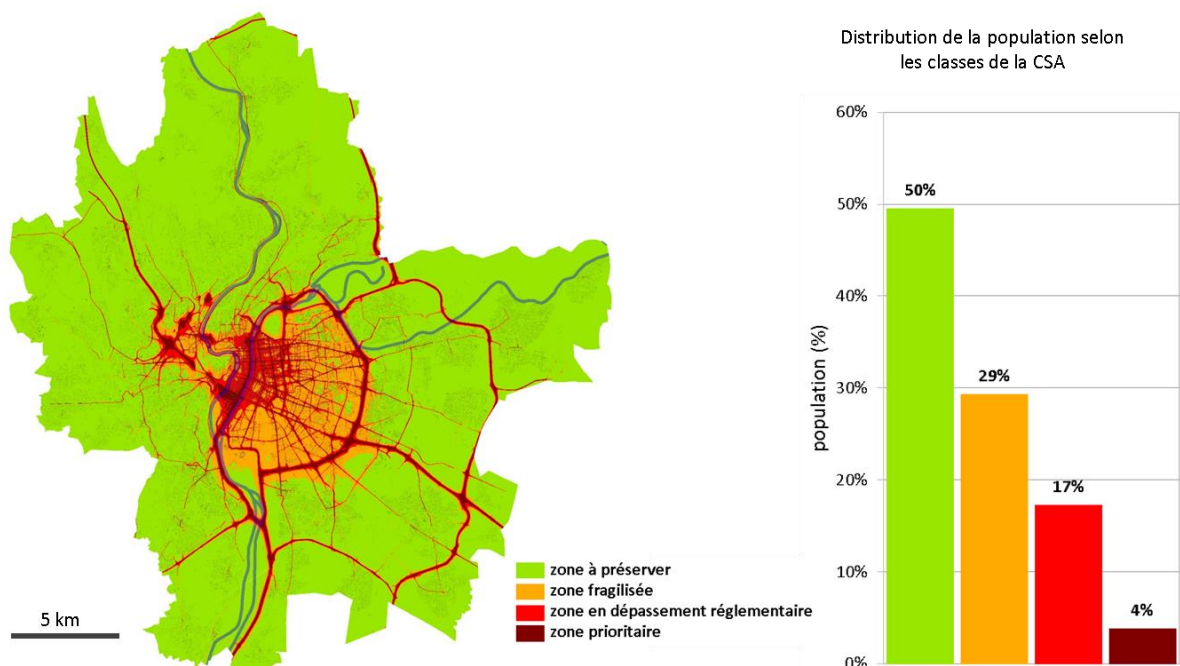
\* Défini tel que la classe 4 intègre 40% de la surface soumise à un dépassement de valeur limite



## 4.2. Calcul de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique

La couche géographique « qualité de l'air » peut être croisée avec différentes variables spatialisées. Il est par exemple possible de calculer le nombre d'habitants exposés aux différentes classes de qualité de l'air par croisement géographique de l'indicateur « qualité de l'air » et de la couche présentant la répartition de la population. La figure ci-dessous illustre le résultat d'une telle approche sur le territoire du Grand Lyon.

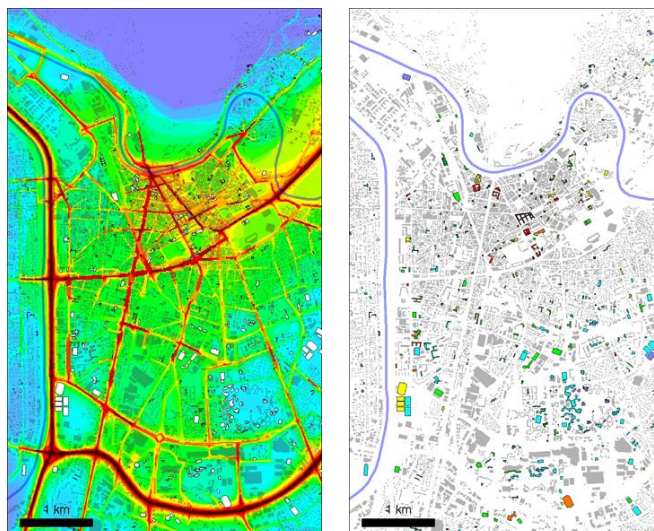
**Grand Lyon**  
**Date édition :** aout 2014  
**Période d'application :** 2014-2018  
**Années prises en compte :** 2009-2013  
**Méthode de référence :** Méthode 1  
**Réalisation technique :** Air Rhône-Alpes



A gauche, indicateur spatialisé de la qualité de l'air établi selon la méthode 1 représenté de manière simplifiée. A droite la part de la population du Grand Lyon exposé aux différentes classes de qualité de l'air.

## 4.3. Établissements sensibles ou projets d'aménagements

**Etablissements sensibles.** L'effet sanitaire de la pollution atmosphérique est dépendant de la sensibilité des personnes. Les personnes âgées, les enfants en bas âge et les malades ont une sensibilité particulière à la pollution atmosphérique. A ce titre, le croisement de l'indicateur « qualité de l'air » et des établissements constitue un élément d'aide à la décision important pour les aménageurs.



Deux manières de représenter le croisement de l'indicateur « qualité de l'air » spatialisé et les établissements sensibles. Illustration pour le cas de l'agglomération de Grenoble.

**Les projets d'aménagement.** Aujourd'hui, les agglomérations de Rhône-Alpes sont denses et les réserves foncières se trouvent souvent dans des zones dégradées du point de vue de la qualité de l'air. L'intensification urbaine se fait donc souvent au prix d'une augmentation de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique. Ainsi, il est important de mettre à la disposition des collectivités qui ont la compétence urbanisme la couche « qualité de l'air » en vue d'un croisement avec les projets d'aménagement futurs afin d'éviter les zones les plus polluées ou d'anticiper des mesures de protection.

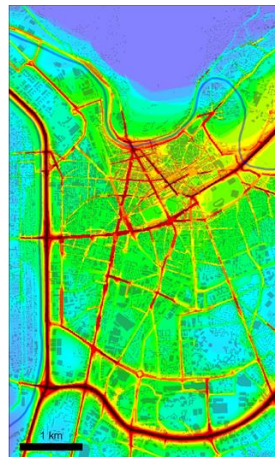
#### 4.4. Croisement avec des données socio-économiques (indicateur de défaveur sociale)

L'indicateur spatialisé de la qualité de l'air peut être croisé avec un indicateur de défaveur sociale afin d'analyser le lien entre inégalités environnementales et inégalités sociales. Air Rhône-Alpes n'a pas de compétence particulière dans le domaine de la sociologie, cet exercice théorique a été réalisé à titre illustratif. L'indicateur de défaveur sociale utilisé est l'indice de Townsend (ce choix est essentiellement fondé sur le fait qu'il est facile à construire). Au-delà de sa dimension illustrative cet exercice a permis de construire une méthode permettant de produire une couche « qualité de l'air » de résolution spatiale cohérente avec celle des données socio-économique i.e. à l'échelle de l'IRIS.

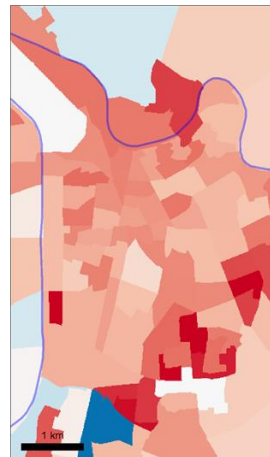
#### Etape préalable de traitement de l'indicateur « qualité de l'air » : agrégation spatiale à l'échelle de l'IRIS

L'indicateur de défaveur sociale (indice de Townsend) n'est disponible qu'à l'échelle de l'IRIS. L'indicateur spatialisé « qualité de l'air » est quant à lui produit à une résolution spatiale de 10 m x 10 m (Cf. figure ci-dessous). Ainsi, avant de croiser ces deux couches géographiques, il est nécessaire d'agréger l'indicateur « qualité de l'air » à l'échelle de l'IRIS. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées.

**Indicateur « qualité de l'air »**  
Résolution 10 m x 10m



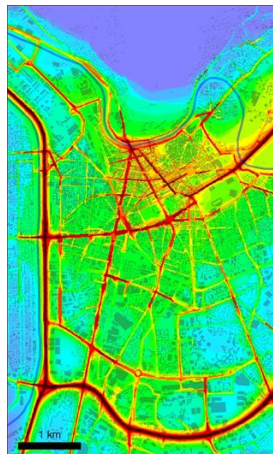
**Indice de Townsend**  
Résolution IRIS



Comparaison de la résolution spatiale native de l'indicateur qualité de l'air et de l'indice de Townsend

**L'agrégation par la « moyenne » décrit la qualité de l'air globale de l'IRIS mais échoue à décrire le niveau d'exposition de la population.** L'approche la plus directe consiste à moyennner toutes les valeurs contenues dans chaque IRIS. La limite de cette approche réside dans son incapacité à décrire le niveau d'exposition de la population. Cela est lié au fait qu'elle ne prend pas en compte la forte hétérogénéité spatiale de l'indicateur « qualité de l'air » ainsi que celle de la répartition de la population. Par exemple, les grands IRIS traversés par un axe majeur de transports routiers (*e.g.* au sud dans la figure ci-dessous) présentent une valeur faible, alors qu'une part importante de la population de ces IRIS est concentrée en bordure de ces axes et est donc fortement exposée.

**Indicateur « qualité de l'air »**  
Résolution 10 m x 10m



**Indicateur « qualité de l'air »**  
Agrégé à l'échelle IRIS

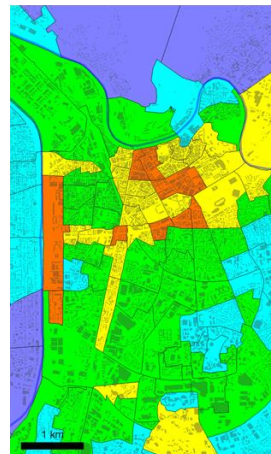


Illustration de l'effet de l'agrégation de l'indicateur « qualité de l'air » à l'échelle de l'IRIS en moyennant directement la valeur de l'indicateur pour chaque IRIS (exemple d'une zone de l'agglomération grenobloise)

**Définition d'une méthode qui permet de produire une donnée à l'échelle de l'IRIS décrivant le degré d'exposition de la population de chaque IRIS.** D'une manière générale, ce qui importe n'est pas le niveau moyen de pollution d'un IRIS, mais bien le degré d'exposition de la population de cet IRIS. Pour cela, il convient d'utiliser une méthode d'agrégation qui prenne en compte la finesse spatiale de l'information qualité de l'air (10 m x 10 m) ainsi que celle de la répartition de la



population (Air Rhône-Alpes dispose d'une donnée de population à une résolution de 10 m x 10 m<sup>9</sup>). La méthode est la suivante (Cf. figure ci-dessous) : il faut d'abord produire une couche « qualité de l'air » pondérée par la population en multipliant en chaque point la valeur de l'indicateur « qualité de l'air » avec celle de la population. La couche résultante a donc une résolution spatiale élevée (10 m x 10 m). Cette couche peut ensuite être agrégée à l'échelle de l'IRIS en moyennant. La carte produite avec cette méthode est assez différente de celle produite sur la base de la méthode présentée au paragraphe précédent.

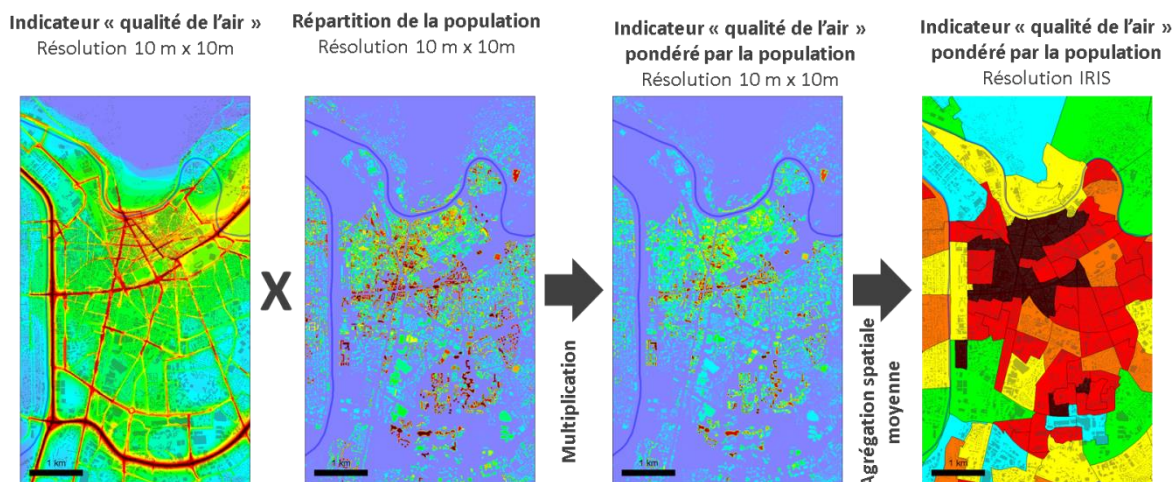


Illustration du principe de la méthode d'agrégation spatiale de l'indicateur « qualité de l'air » spatialisée à l'échelle de l'IRIS (exemple d'une zone de l'agglomération grenobloise)

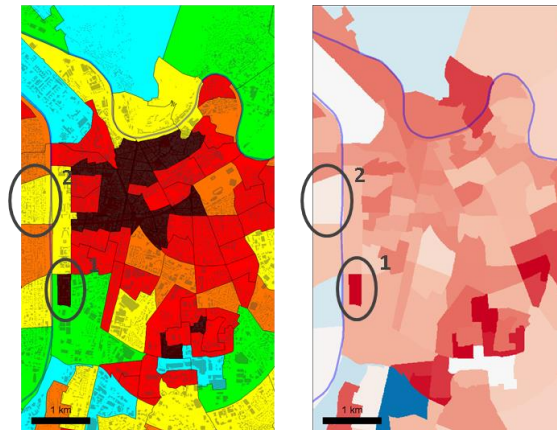
## Illustration du principe de croisement de l'indicateur « qualité de l'air » avec l'indice de Townsend

L'indicateur « qualité de l'air » peut être croisé avec l'indice de Townsend afin d'étudier la relation entre inégalités environnementales et inégalités sociales. La figure suivante présente conjointement les deux indicateurs. En première approche, il est difficile de juger du degré de corrélation entre les deux indicateurs, mais il est possible d'extraire les données pour une analyse statistique systématique (Cf. § suivant). L'approche cartographique constitue un puissant outil de diagnostic puisqu'elle permet, par exemple, d'identifier très simplement des quartiers qui cumulent défaveur sociale et forte exposition à la pollution atmosphérique (cercle 1) ou à l'inverse des quartiers favorisés socialement et où la population est peu exposée à la pollution atmosphérique (cercle 2).

<sup>9</sup> La méthode de production de cette donnée est normalisée au niveau national et est décrite dans un guide produit par le LCSQA. Elle est basée sur la désagrégation des populations INSEE à l'IRIS dans le bâti IGN BDTPO au prorata du volume des bâtiments

**Indicateur « qualité de l'air »  
pondéré par la population**  
Résolution IRIS

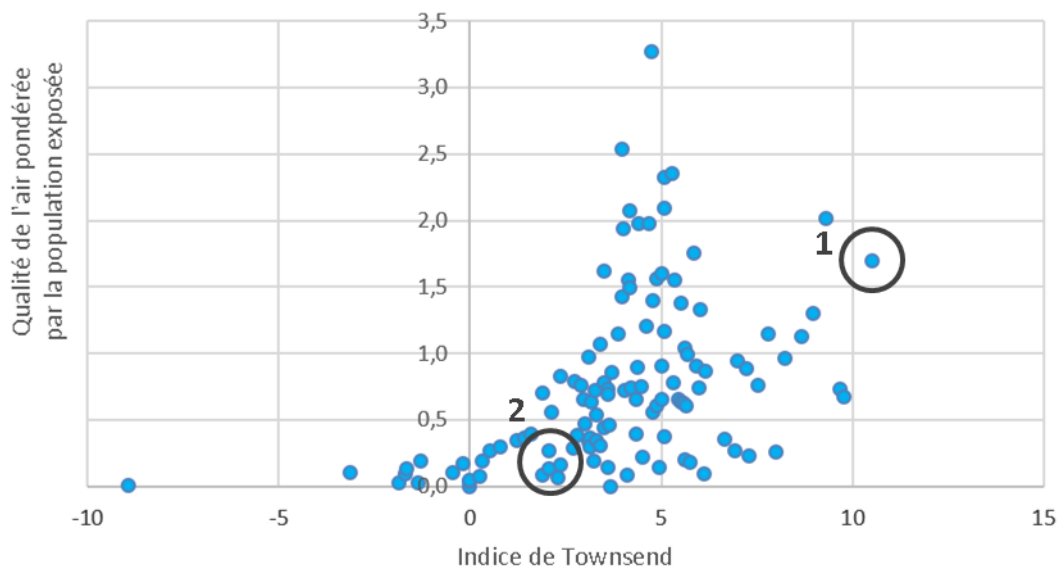
**Indice de Townsend**  
Résolution IRIS



Présentation de l'indicateur « qualité de l'air » et de l'indice de Townsend (exemple d'une zone de l'agglomération grenobloise). Le cercle 1 met en évidence un IRIS qui cumule forte exposition de la population à la pollution atmosphérique et indice élevé de défaveur sociale. Le cercle 2 cible un IRIS favorisé socialement et où la population est peu exposée à la pollution atmosphérique

Le graphique ci-dessous représente graphiquement les données représentées par les cartes ci-dessus. Sur le périmètre restreint étudié, l'indice de Townsend et l'indicateur « qualité de l'air » présentent une corrélation linéaire (coefficient de détermination  $R = 0,43$ ) mais la force de cette association est faible (coefficient de corrélation  $R^2 = 0,19$ ).

Exposition de la population à la pollution et à la défaveur sociale  
par Iris dans le centre ville de Grenoble



Analyse de la corrélation entre l'indice de Townsend (indicateur de défaveur sociale) et l'indicateur qualité de l'air (représentatif de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique). Les cercles mettent en évidence les IRIS ciblés dans la figure précédente.  $R = 0,43$  ;  $R^2 = 0,19$ .

Les données présentées ci-dessus portent sur une zone très restreinte et ne vise qu'à illustrer le potentiel d'une telle approche.

## 5. Conclusion et perspectives

Les travaux présentés dans ce document ont permis **d'explorer différentes méthodologies d'élaboration d'un indicateur « qualité de air » spatialisé** et d'identifier les paramètres essentiels à la construction d'un indicateur adapté à l'étude des inégalités environnementales. Trois méthodes ont été jugées pertinentes. L'indicateur produit selon la méthode 1 est aujourd'hui disponible sur les agglomérations de Grenoble et Lyon et il sera produit sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes en 2015.

L'indicateur « qualité de l'air » spatialisé a été exploité afin d'illustrer **des applications opérationnelles** : cartographie simplifiée permettant de communiquer facilement sur la question de la pollution atmosphérique, croisement avec des données de différentes natures (population générale, établissements sensibles, indicateur de défaveur sociale etc.)

Les indicateurs proposés reposent essentiellement sur les polluants et les seuils réglementaires qui, au vu des données les plus récentes, ne paraissent pas toujours être les descripteurs les plus adaptés de l'impact sanitaire. Ainsi, il paraît nécessaire qu'Air Rhône-Alpes, qui a une forte culture « réglementaire » mais ne dispose pas des compétences nécessaires dans le domaine de la santé, s'associe à des experts du domaine **en vue d'élaborer un indicateur « qualité de l'air » décrivant au mieux les effets sur la santé.**

Une question qui n'a pas été abordée dans ce rapport concerne le croisement de l'indicateur « qualité de l'air » avec d'autres variables de l'environnement telles que le bruit ou les îlots de chaleur. Air Rhône-Alpes est toutefois actif sur cette question puisque dans le cadre du projet ORHANE, un indicateur air/bruit devrait être diffusé en 2015.