

## Note technique

### RECENSEMENT DES METHODES DE CARTOGRAPHIE UTILISEES DANS LES AASQA

(Bilan au 31 décembre 2013)

Elsa Real (INERIS), Laurent Létinois (INERIS),  
Laure Malherbe (INERIS), Maxime Beauchamp (INERIS)

#### SYNTHESE

Le LCSQA a été chargé de développer, en collaboration avec les AASQA, une approche harmonisée permettant d'estimer l'exposition des populations à des dépassements de seuils réglementaires. Afin d'orienter ce travail, un recensement préalable des méthodes de cartographie et de croisement avec la population a été réalisé auprès des AASQA. Vingt-quatre AASQA ont répondu à un questionnaire qui leur a été envoyé au début de l'année 2013. Cette note présente le bilan des réponses obtenues.

## 1. CONTEXTE

---

A la demande du ministère chargé de l'environnement, le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) et les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) se sont engagés dans l'harmonisation des méthodologies destinées à évaluer l'exposition de la population à des dépassements de seuils réglementaires. Un état des pratiques constitue un préalable indispensable à ce travail.

## 2. INTRODUCTION

---

Afin de recenser les différentes méthodes de cartographie utilisées par les AASQA, le LCSQA a envoyé un questionnaire à ces dernières en début d'année 2013. Ce document a pour but d'analyser et de synthétiser les réponses reçues. Il est articulé autour de deux parties principales. La première présente toutes les méthodes de cartographie employées, alors que la seconde restreint l'analyse aux méthodes de cartographie utilisées pour calculer la population exposée à des dépassements de seuils réglementaires de pollution.

Les résultats présentés dans ce document sont fondés sur les réponses de 24 AASQA sur 26, et sont donc représentatifs des méthodes utilisées par les associations régionales, même s'ils ne sont pas complètement exhaustifs. La description technique détaillée des méthodes ne fait pas l'objet de cette note.

## 3. ANALYSE DES METHODES DE CARTOGRAPHIE UTILISEES DANS LES AASQA

---

La plupart des AASQA ayant répondu au questionnaire décrivent plusieurs types de méthodologies utilisés, en fonction généralement de la zone d'étude et du polluant. Au total, 88 cartographies obtenues par ces méthodologies ont été répertoriées (NB : est désignée ici comme cartographie la combinaison d'une AASQA et d'une méthodologie appliquée de manière identique à un ou plusieurs polluants). Les figures et les chiffres présentés dans la section suivante sont tirés de cet inventaire.

### 3.1 GENERALITES

Dans le questionnaire, les méthodes de cartographie étaient divisées en trois grands groupes : celles construites uniquement à partir d'observations (32 % des réponses), celles construites uniquement à partir de modèles numériques (24%) et, enfin, celles combinant modèles numériques et observations (44%). Ces proportions sont représentées Figure 1.

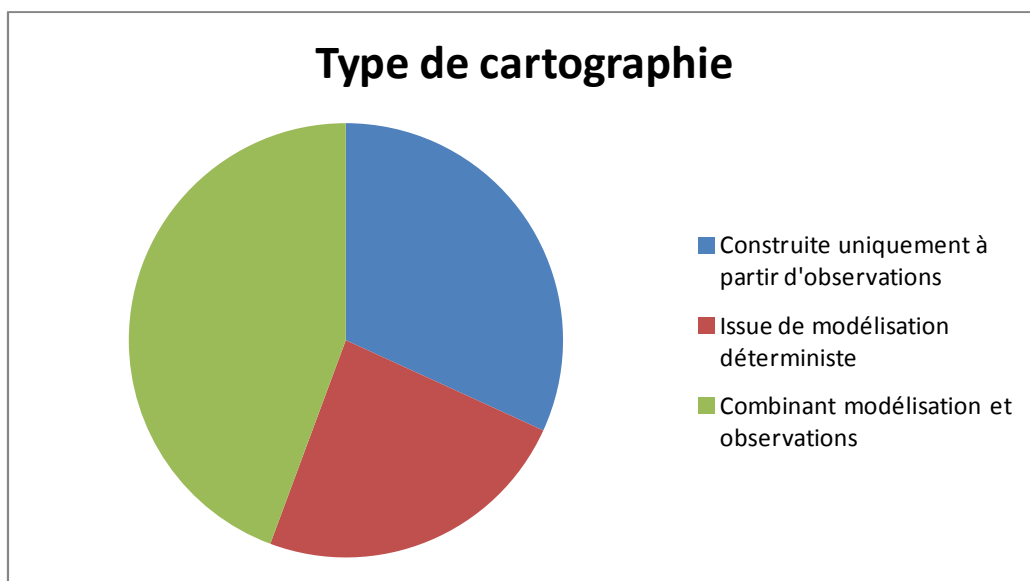


Figure 1: répartition des cartographies suivant le type

Les polluants les plus cartographiés sont, dans l'ordre, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> et le benzène qui représente 70% des COV cartographiés (voir Figure 2). Il s'agit de polluants réglementés pour lesquels des dépassements de seuil sont régulièrement constatés. En particulier, les dépassements des valeurs limites réglementaires de PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub> conduisent à l'établissement de Plans de Protection de l'Atmosphère, qui requièrent la cartographie des zones en dépassement sur les périmètres géographiques associés.

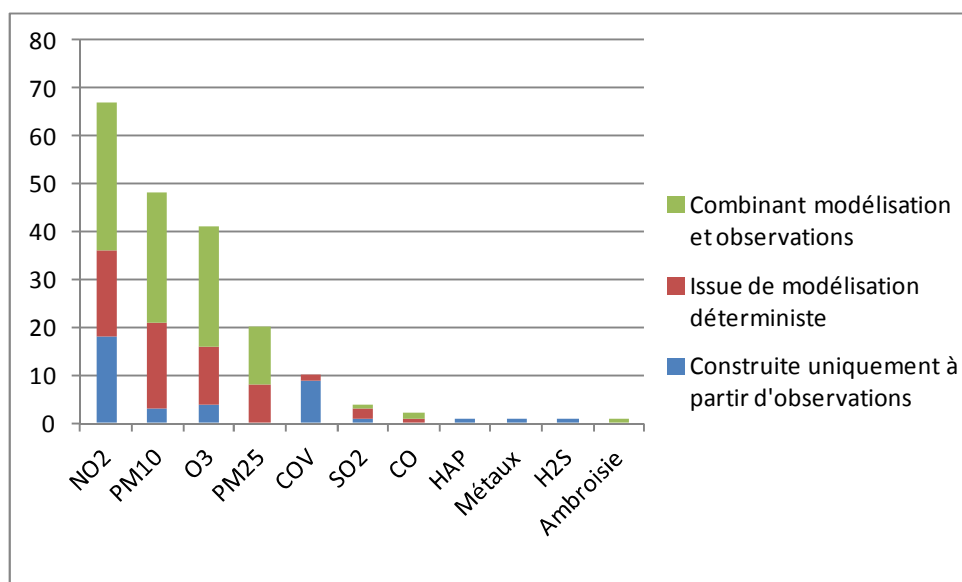
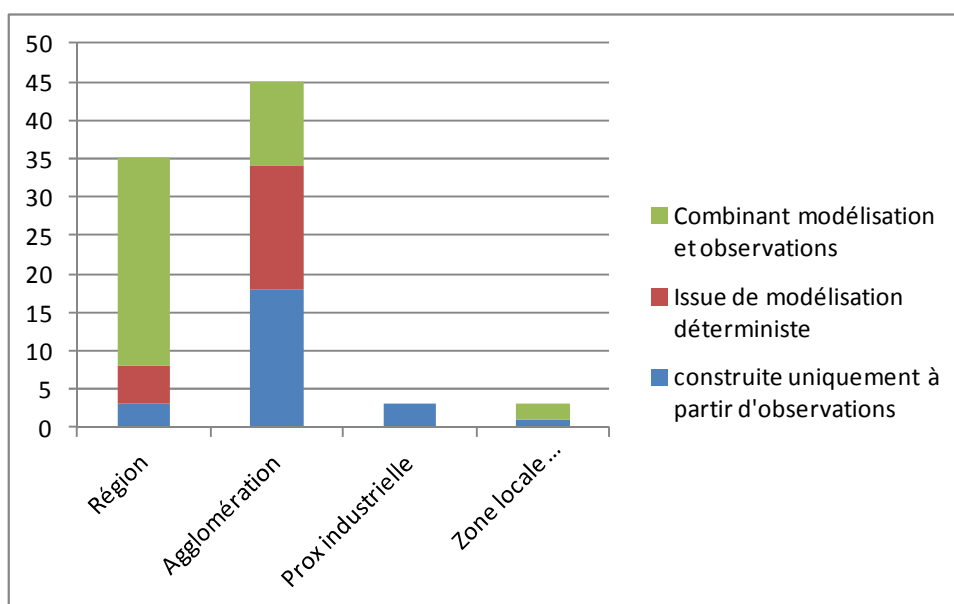


Figure 2: polluants pour lesquels une cartographie est mise en œuvre. Nombre d'applications recensées par polluant.

Pour certains polluants, tels que PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et O<sub>3</sub>, les cartographies sont généralement réalisées à partir de modélisation déterministe (avec ou sans prise en compte des observations). Ces polluants ont une chimie complexe et une relative longue durée de vie. Des concentrations non négligeables de ces espèces peuvent donc être observées sur de

vastes territoires, conséquence d'émissions primaires ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  pour les particules) et de formation secondaire. Il est par conséquent difficile de disposer d'un réseau de mesures suffisamment dense pour pouvoir être représentatif de l'ensemble des concentrations élevées sur le territoire. En particulier, aucune cartographie n'est établie à partir d'observations uniquement pour  $PM_{2,5}$ . Ceci s'explique par le peu de mesures  $PM_{2,5}$  existantes sur le territoire, rendant ces cartographies trop incertaines. En revanche, pour certains polluants non ou très peu pris en compte dans les modèles de qualité de l'air, les seules cartographies existantes sont construites à partir d'observations (benzène, HAP, métaux, etc.).

Environ la moitié des cartographies sont réalisées à l'échelle de l'agglomération (agglomération toute entière ou uniquement un quartier) et 42% à l'échelle de la région. Les cartographies établies à partir d'observations uniquement sont beaucoup plus fréquentes à l'échelle de l'agglomération (40%) qu'à celle de la région (14%) (Figure 3). Cela peut s'expliquer par la difficulté d'élaborer une cartographie représentative d'un vaste territoire tel qu'une région en se basant uniquement sur des observations : ce type de cartographie requiert généralement des campagnes de mesure denses, dont le coût et la logistique sont importants.



**Figure 3: zone sur laquelle est réalisée la cartographie. Nombre d'applications recensées par type de zone.**

Dans les sections suivantes, les différentes méthodologies de cartographie sont détaillées.

### 3.2 CARTOGRAPHIE A PARTIR D'OBSERVATIONS

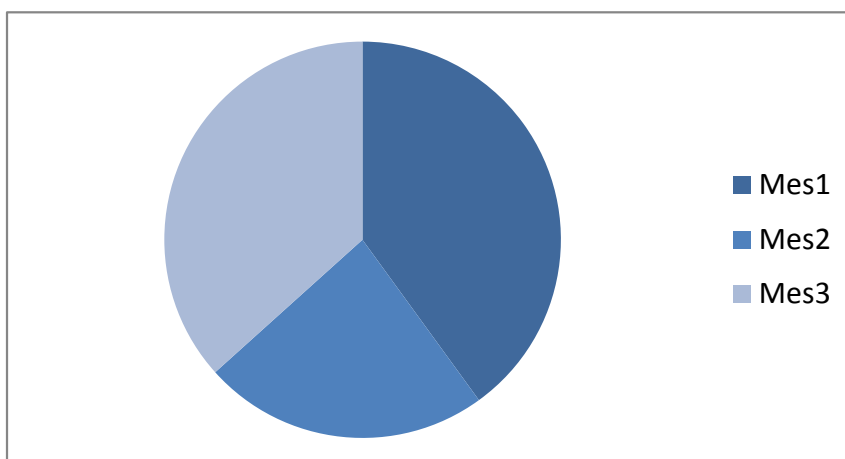


Figure 4: cartographie à partir d'observations uniquement – répartition des cartographies selon la méthodologie employée

Les cartographies établies uniquement à partir de mesures représentent environ un tiers des réponses reçues. Parmi les méthodes employées, certaines consistent uniquement à situer les points de mesures sur une carte (**Mes.1**), d'autres utilisent une simple méthode d'interpolation pour spatialiser les mesures obtenues ponctuellement (Mes.2) ; d'autres enfin reposent sur des méthodes géostatistiques plus complexes (Mes.3). La répartition des méthodologies utilisées est représentée Figure 4. Pour environ 40% des cartographies étudiées, l'objectif n'est pas d'estimer les concentrations en tout point et seule la localisation des points de mesures et les concentrations associées sont indiquées. Pour plus de 36% des cartographies, des méthodes de krigeage sont mises en œuvre (ensemble des réponses Mes.3). Dans plus de la moitié des cas, le krigeage intègre des variables explicatives (généralement les émissions mais parfois le degré d'urbanisation ou l'altitude).

Pour la moitié des cartographies construites à partir d'observations uniquement, l'objectif est de produire une cartographie annuelle des concentrations sur une zone, afin de confronter celles-ci aux valeurs limites annuelles. Un minimum de 8 semaines de prélèvement réparties sur l'année est alors respecté, conformément à la directive européenne sur la qualité de l'air ambiant (Directive 2008/50/CE). A noter que dans ce cas, les méthodologies employées sont basées sur des méthodes géostatistiques (Mes.2 ou Mes.3).

### 3.3 CARTOGRAPHIE A PARTIR DE MODELISATION NUMERIQUE

La majorité des cartographies recensées sont issues d'un modèle numérique, combinant ou non des observations. Les modèles numériques permettent de disposer de concentrations spatialisées sur des grilles plus ou moins fines définies par l'utilisateur. La Figure 5 représente les différents modèles numériques utilisés par les AASQA pour cartographier la pollution, d'après les réponses au questionnaire. A l'échelle régionale, les plateformes régionales de modélisation sont préférentiellement utilisées (ESMERALDA, PREV'EST, AIRES, PREVALP) mais la plateforme nationale (PREV'AIR) est utilisée dans environ 40% des cartographies régionales. Plateformes régionales et nationale sont basées sur le même

modèle eulérien de chimie-transport : le modèle CHIMERE. Parmi les modèles de petite échelle, le modèle ADMS-Urban est préférentiellement utilisé par les AASQA pour cartographier la pollution à l'échelle urbaine.

Les principales caractéristiques des cartographies établies à partir de modèles sont brièvement décrites dans la suite de ce paragraphe. Plus de détails sont donnés pour les cartographies associées au calcul de la population exposée aux seuils, auquel est consacrée la section 2.

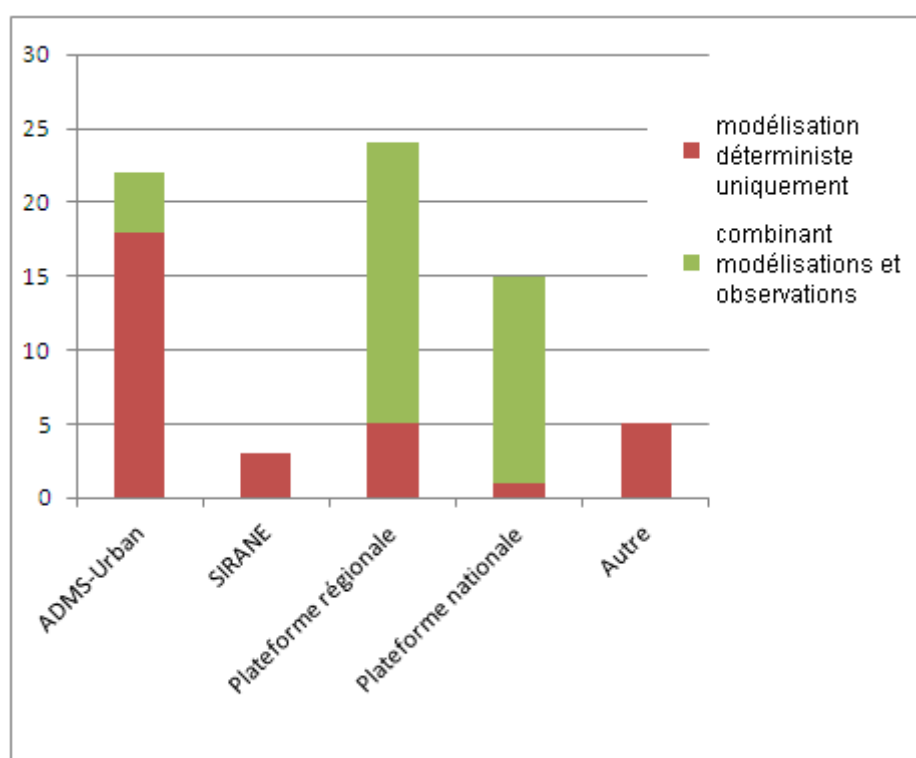


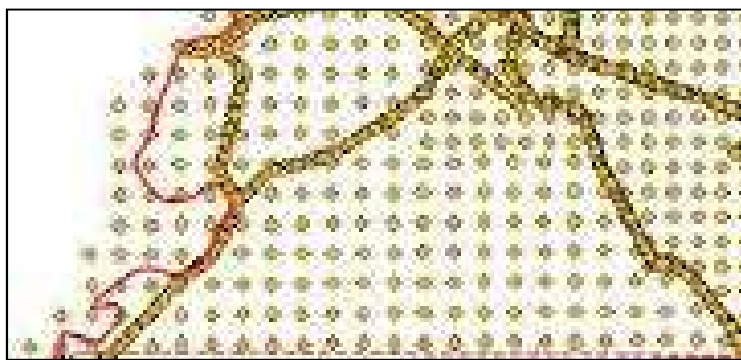
Figure 5: les différents modèles utilisés pour cartographier la pollution, associés (en vert) ou non (en rouge) à des observations. Nombre d'applications recensées par modèle ou type de plateforme.

### 3.3.1 Modélisation à l'échelle régionale

En ce qui concerne la modélisation régionale, les calculs sont principalement effectués sur des mailles de 3\*3km (4\*4km dans 2 cas seulement) dans le cas de plateformes régionales ou 10\*15km pour la plateforme nationale PREV'AIR. Les concentrations modélisées peuvent ensuite être raffinées par des méthodes de krigeage ou des corrections statistiques. C'est le cas pour environ la moitié des résultats issus des plateformes régionales et pour la majorité des résultats de la plateforme nationale. Finalement, les cartographies régionales sont présentées à des résolutions allant de 500 mètres à 15 kilomètres, avec une prédominance pour la résolution 1\*1km. Dans la majeure partie des cas, les résultats des modèles à l'échelle régionale sont combinés avec les observations provenant des stations fixes (généralement stations de fond rurales, périurbaines et urbaines). Dans 14 des 15 cas d'utilisation du modèle national PREV'AIR, une technique de krigeage est mise en œuvre combinant observations et modèle. C'est également le cas pour 66% des cas où une plateforme régionale est utilisée. Dans 12% des cas, les observations sont également

utilisées pour corriger statistiquement les résultats de la plateforme régionale, sans qu'une méthode de krigeage soit appliquée.

### 3.3.2 Modélisation à l'échelle urbaine



**Figure 6: exemple de maillage intelligent créé par le modèle ADMS-Urban (source: Airfobep, maintenant Air PACA)**

Le modèle principalement utilisé à l'échelle urbaine est le modèle ADMS-Urban. Ce modèle de dispersion gaussienne adapté à la ville calcule les concentrations en plusieurs points récepteurs répartis sur le domaine d'étude. Le modèle propose un « maillage intelligent » (voir exemple Figure 6) où les points récepteurs sont automatiquement répartis, avec une densité de points plus importante près des grandes sources, en l'occurrence près des axes routiers. L'utilisateur peut également définir son propre maillage (c'est-à-dire répartir les points récepteurs suivant ses besoins). Le maillage intelligent, propre au modèle, est utilisé dans 70% des cas, alors que des grilles irrégulières spécifiques à la zone d'étude sont créées par les AASQA pour les 30% restants. Les concentrations ainsi calculées sont ensuite généralement interpolées sur des grilles fines régulières (grille « finale »), allant de 5m à 50m (50m est la résolution la plus usitée). Les méthodes d'interpolation sont multiples, allant d'une interpolation simple telle que la méthode par voisins naturels à des interpolations plus complexes comme les méthodes de krigeage. Dans 2 cas cependant, le résultat final n'est pas une grille régulière ou irrégulière mais un ensemble d'isosurfaces (voir section 4.1.2 pour plus de détails).

Dans 3 cas, le modèle SIRANE est utilisé. Ce modèle simule la dispersion des polluants à l'échelle de la rue en tenant compte de leur advection le long des axes routier et de leur dispersion aux intersections. Les calculs de ce modèle, ainsi que la cartographie finale se font sur une grille régulière fine de résolution de 10 à 20 mètres.

Dans la plupart des cas, les observations sont utilisées pour caler le modèle en amont de son utilisation. Dans 4 cas néanmoins, des observations ont été utilisées pour « redresser » les résultats du modèle. La difficulté pour de tels modèles urbains est de disposer d'une représentativité suffisante du nombre d'observations sur la zone urbaine modélisée.

### 3.3.3 Combinaison échelle régionale/locale

Dans certains cas, une combinaison d'échelle régionale et locale est mise en œuvre. Cette combinaison peut consister à utiliser les simulations du modèle à l'échelle régionale comme concentration de fond pour le modèle urbain (ADMS-Urban). Dans ce cas, la cartographie reste une cartographie à l'échelle urbaine. Dans d'autre cas, la cartographie est une cartographie à l'échelle régionale pour laquelle des modélisations régionales et urbaines sont combinées afin de décrire finement la pollution à plusieurs échelles. Dans les réponses à notre questionnaire, c'est le cas pour uniquement 3 cartographies sur 88, couplant la modélisation à l'échelle régionale avec le modèle paramétrique STREET (2 cas) auquel cas la modélisation fine échelle ne simule que les concentrations liées au trafic routier, ou le modèle SIRANE (voir Figure 8).

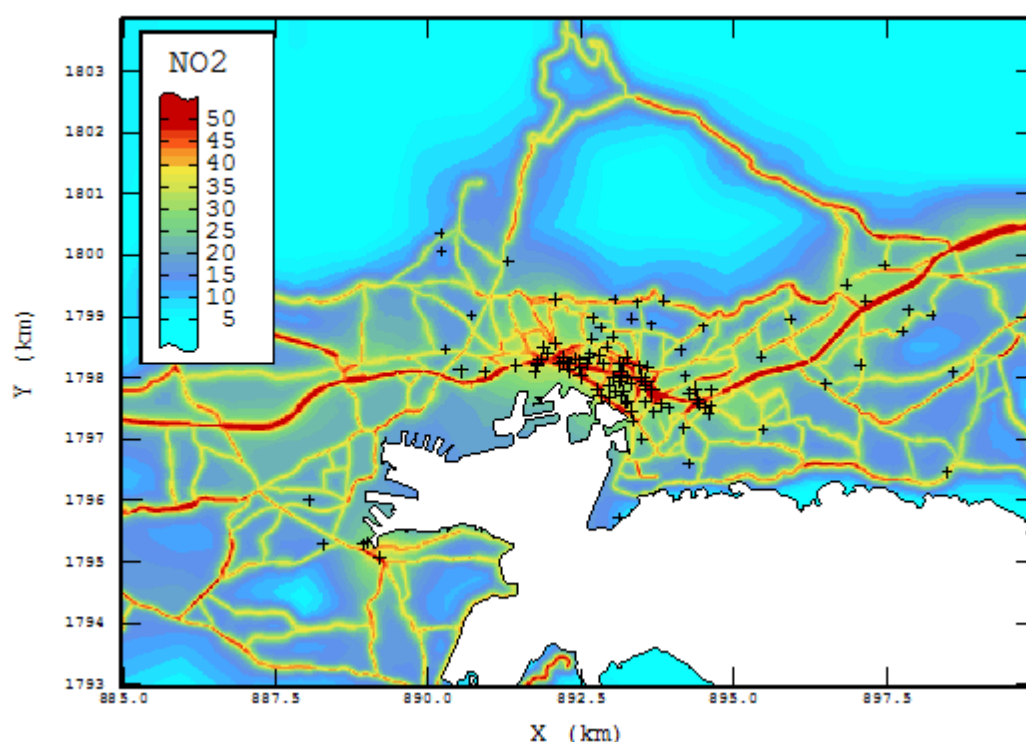
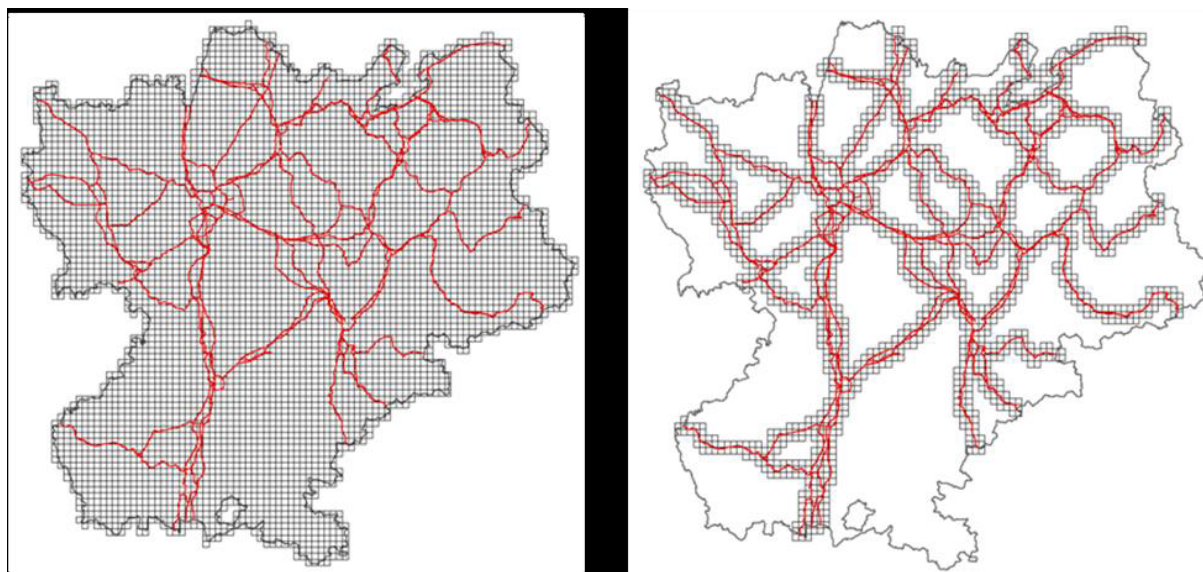


Figure 7: exemple de superposition d'une modélisation à l'échelle régionale et d'une simulation de la pollution routière à l'aide du modèle STREET sur Toulon et ses alentours (source : Air PACA et Air Languedoc-Roussillon)



**Figure 8: exemple de modélisation combinée régionale/locale par le système CartoProx (Air Rhône-Alpes). A gauche, le maillage du modèle régional, à droite, le maillage du modèle SIRANE représentant les principaux axes routiers. Le modèle SIRANE est également utilisé en mode urbain dans ce système sur 6 agglomérations.**

#### **4. METHODES UTILISEES POUR ESTIMER LA POPULATION EXPOSEE A DES SEUILS DE POLLUTION.**

---

L'information sur la population exposée à des seuils réglementaires est requise dans le cadre législatif national et européen (directive 2008/50/CE annexe 1, directive 2004/107/CE article 5, arrêté du 21 octobre 2010 article 10, Directive 2008/50/CE annexe XV (plans), Code de l'environnement article R222-15, Code de l'environnement article R223-1). Cette information est, entre autre, requise lorsqu'un Plan de Protection de l'Atmosphère est mis en place ou dans le cadre d'un dépassement de seuil journalier de pollution (arrêté « mesures d'urgence » du 26 mars 2014). De plus, d'après les nouvelles dispositions du rapportage (Décision « IPR » 2011/850/EU du 12.12.2011), cette information doit être remontée à la Commission Européenne dès lors qu'un seuil réglementaire est dépassé.

Parmi les 88 cartographies décrites, 46% sont utilisées pour estimer l'exposition de la population à divers seuils de pollution. Cette section est plus précisément consacrée à la description de ces méthodes.

L'estimation de la population exposée peut se résumer en 3 phases :

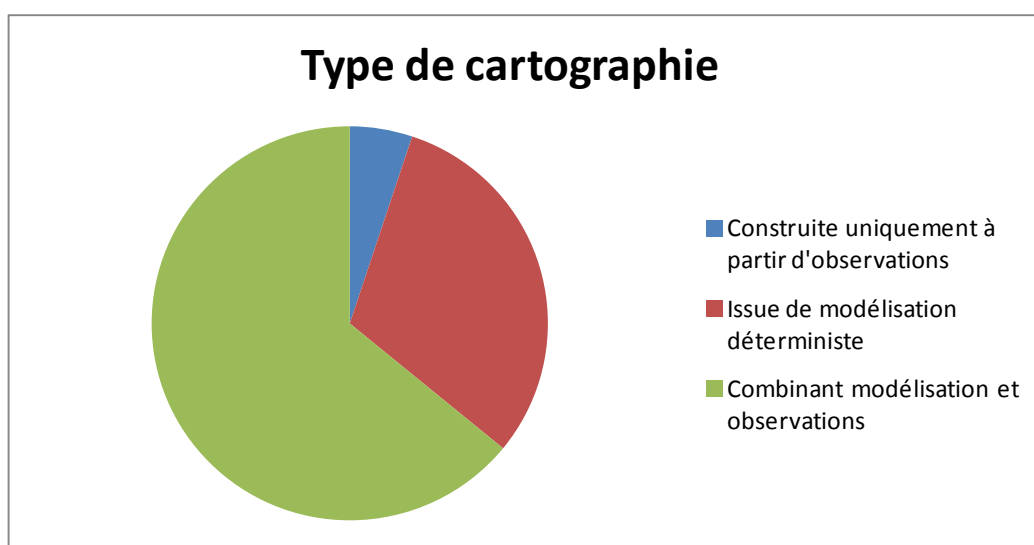
- 1) Cartographie des concentrations : estimation sur une grille (régulière ou non) des concentrations en chaque maille ;
- 2) Cartographie des dépassements : à partir des concentrations en chaque maille, délimitation des zones de dépassement du seuil considéré ;
- 3) Estimation de la population exposée : croisement des données de population avec les cartographies de dépassement.

Chacune de ces phases est détaillée dans cette section.

## 4.1 CARTOGRAPHIE DES CONCENTRATIONS

La première phase pour estimer, sur un territoire donné, la population exposée à un certain seuil de pollution est d'établir une cartographie des concentrations associées au(x) polluant(s) ciblé(s). Que cette cartographie soit établie via des données d'observations ponctuelles ou via les résultats d'un modèle numérique en chaque centre de maille, la question est la même : quelle est la représentativité spatiale de ces points ? Dans le cas du modèle numérique, cela revient à se demander en quoi le maillage choisi pour le modèle permet de représenter les variations spatiales et temporelles du polluant que l'on souhaite étudier.

### 4.1.1 Généralités

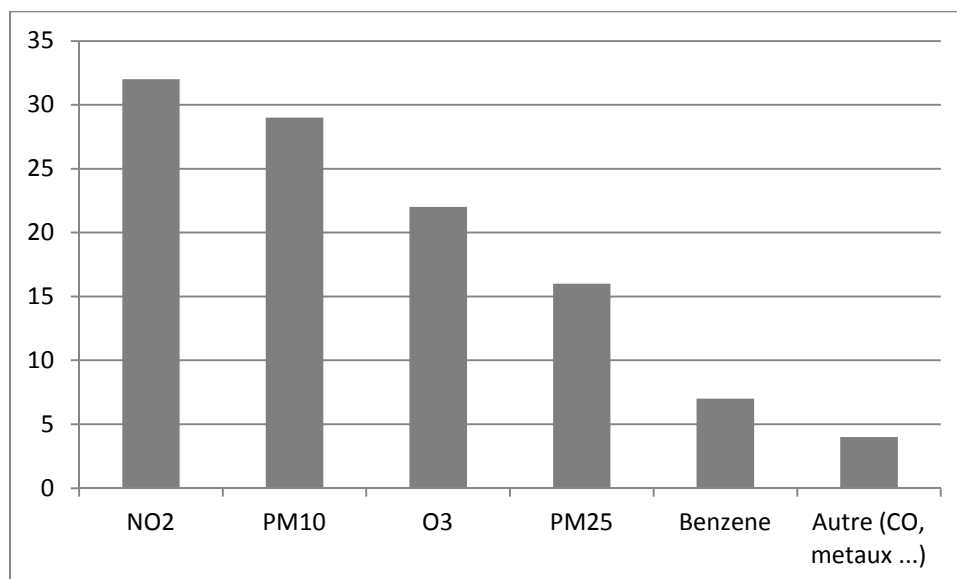


**Figure 9: cartographie utilisée pour estimer la population exposée à des seuils réglementaires – répartition des cartographies selon le type**

La Figure 9 représente, selon les réponses reçues au questionnaire, les méthodes utilisées dans les AASQA pour cartographier la pollution en vue d'estimer la population exposée. En comparant cette figure à la Figure 1, on peut noter que lorsque l'objectif de la cartographie est d'estimer la population exposée, les méthodes de cartographie basées uniquement sur des observations sont bien moins nombreuses. Les textes législatifs requièrent en effet, lorsqu'un dépassement a été observé, d'estimer la surface du territoire soumise à des dépassements des seuils réglementaires, ainsi que la population associée. Il est alors nécessaire d'estimer finement les concentrations de polluants ciblés sur la zone en question. Si cela est théoriquement possible à partir de mesures, cela demande de mettre en œuvre des campagnes de mesures spécifiques incluant un nombre important de moyens de mesure. Les méthodes basées sur la modélisation (associée ou non aux observations des réseaux fixes de mesures) sont ainsi largement prépondérantes (90% des réponses).

Parmi les réponses, les cartographies visant à établir les dépassements par rapport à une valeur limite annuelle, une valeur cible annuelle ou un objectif qualité annuel sont également largement prédominantes en comparaison de celles visant à établir les

dépassements par rapport à un seuil journalier (10% seulement des réponses). Les polluants cartographiés sont détaillés Figure 10.



**Figure 10: polluants cartographiés en vue d'estimer la population exposée à des seuils réglementaires.**  
**Nombre d'applications recensées par polluant.**

Comme dans le cas général (cf. §3.1), le polluant le plus cartographié est NO<sub>2</sub>, suivi de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> et benzène. La proportion de PM<sub>2,5</sub> cartographiée est cependant plus importante lorsque l'objectif est d'estimer la population exposée.

Pour ce qui est de la zone géographique, ici les cartographies à l'échelle régionale sont légèrement plus représentées (53%) que celles à l'échelle de l'agglomération, alors que la proportion de cartographies à l'échelle de l'agglomération domine lorsque toutes les cartographies sans distinction sont étudiées.

#### 4.1.1 Cartographie à partir d'observations

Seules 2 cartographies établies à partir d'observations uniquement ont servi à évaluer la population exposée. Toutes deux font appel au krigeage (Mes.3). L'une représente la pollution de fond à l'échelle régionale. La technique de krigeage mise en œuvre est un krigeage multivariable (cokrigeage colocalisé ou krigeage avec dérive externe) prenant en compte les émissions et l'altitude. L'autre cartographie représente la pollution à l'échelle d'une agglomération. Le surplus de concentration près du trafic est estimé par krigeage simple à l'aide des mesures de proximité et ajouté aux concentrations de fond préalablement estimées par krigeage (ordinaire ou multivariable) ; le variogramme utilisé pour le calcul du surplus est une structure exponentielle de portée égale à la distance d'impact de l'axe.

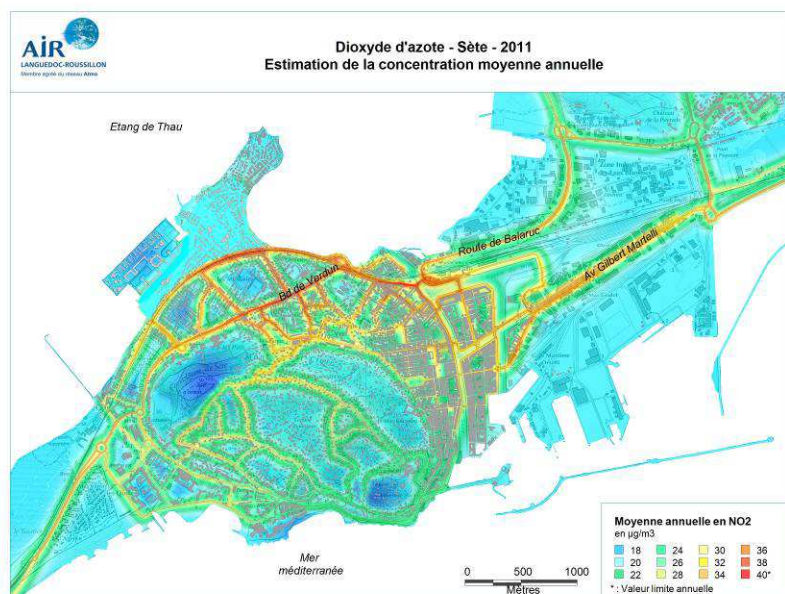


Figure 11: exemple de cartographie de NO<sub>2</sub> sur l'agglomération de Sète établie à partir de campagnes d'échantillonnage (source Air Languedoc-Roussillon)

#### 4.1.2 Cartographie à partir de modélisation numérique

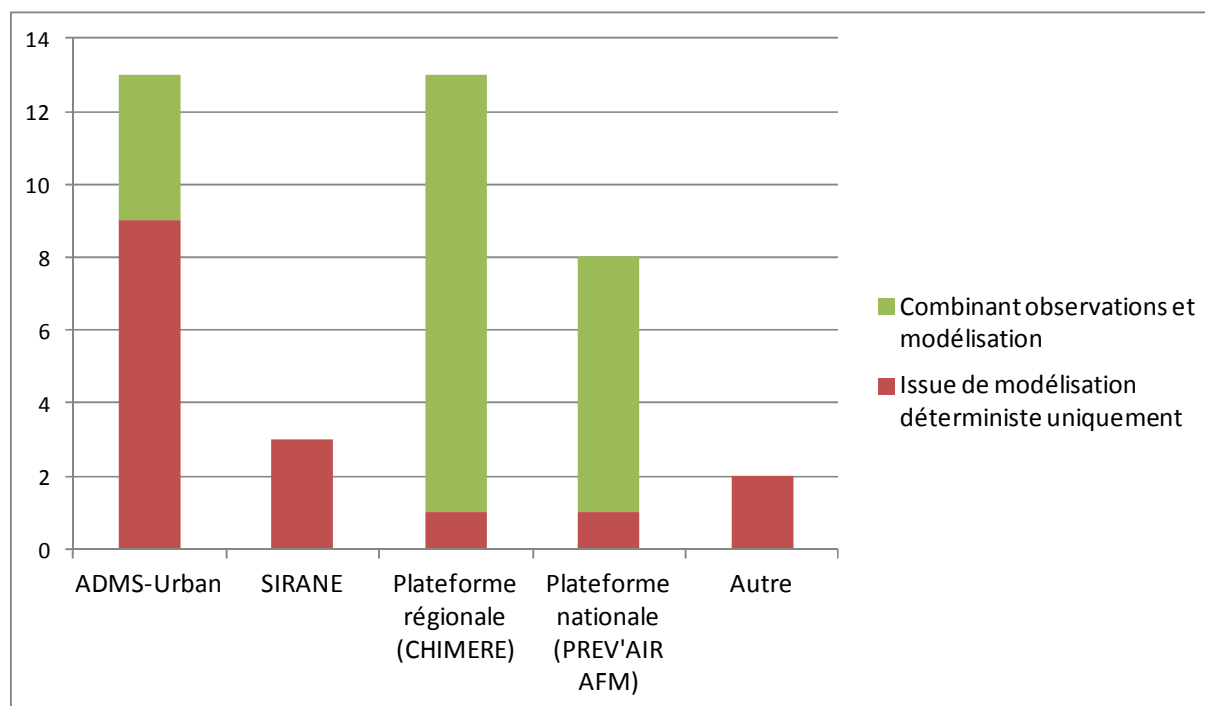


Figure 12: modèles utilisés pour cartographier l'exposition des populations à des seuils réglementaires.  
Nombre d'applications recensées par modèle ou type de plateforme.

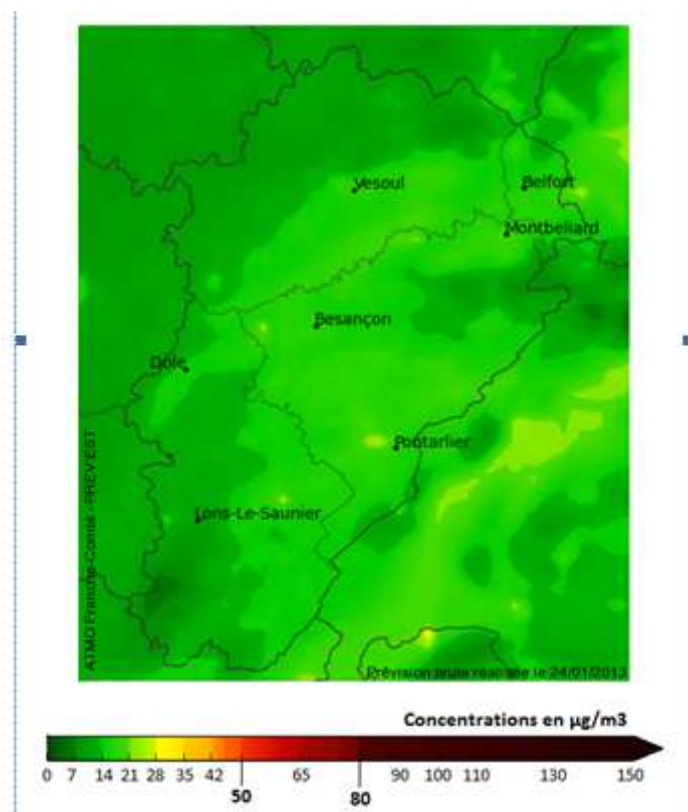
La répartition de l'utilisation des modèles numériques pour estimer les concentrations de polluants en vue d'un calcul d'exposition de la population n'est pas différente de celle qui a été observée pour les méthodes de cartographie considérées dans leur ensemble. A l'échelle

de l'agglomération, le modèle ADMS-Urban est principalement utilisé, alors que la modélisation à partir de plateformes régionales est prépondérante à l'échelle régionale.

Les modèles numériques permettent de calculer la concentration de divers polluants en chaque centre d'une grille de calcul (ou d'un maillage). Ces concentrations peuvent être considérées comme représentatives du polluant ciblé sur la zone d'étude, auquel cas cartographie finale et grille de calcul sont confondues (pour des raisons esthétiques, la visualisation de la carte nécessite généralement une interpolation simple inhérente au logiciel de visualisation). Dans certains cas, la grille de calcul peut se révéler non adaptée à la variabilité spatiale du polluant ciblé. Des méthodes permettent alors, soit de raffiner les concentrations de la grille modèle, soit d'adapter la grille finale à la variabilité spatiale du polluant.

En ce qui concerne la cartographie des concentrations à proprement parler, les problématiques sont fondamentalement différentes selon les modèles utilisés, et donc la zone géographique couverte.

#### 4.1.2.1 Cartographie à l'échelle régionale



**Figure 13: exemple de cartographie régionale des concentrations annuelles en NO<sub>2</sub> sur la région Franche-Comté, à partir du système Prev'Est (source : Atmo Franche-Comté)**

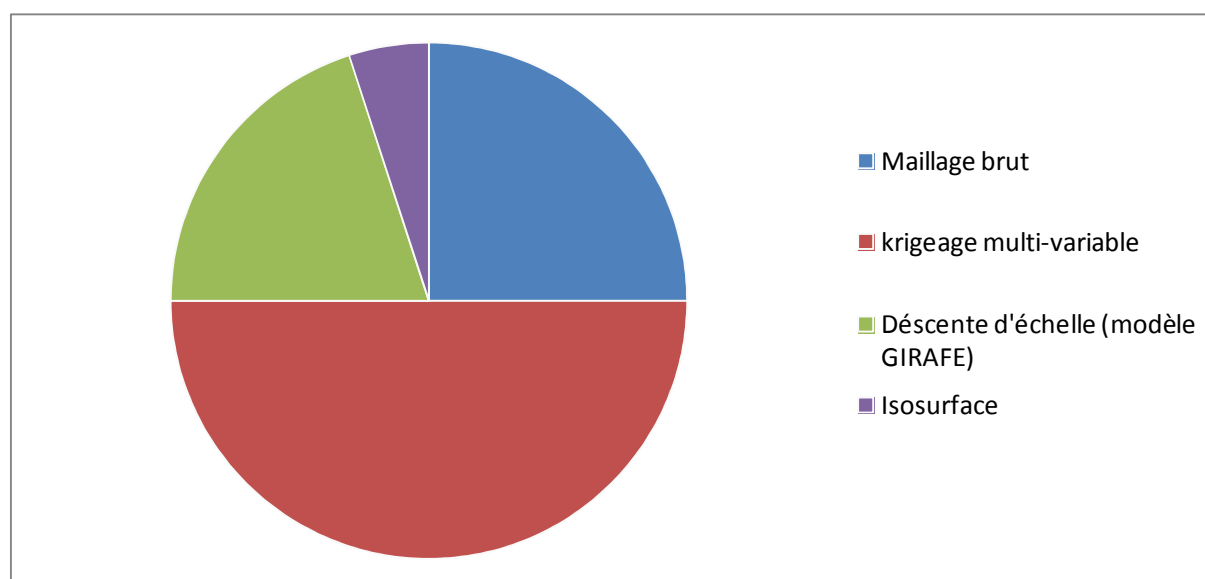
Lorsque la zone ciblée pour estimer la population exposée est la région, la modélisation est effectuée via les plateformes de modélisation régionales ou nationale, c'est-à-dire en utilisant CHIMERE (voir Figure 13 pour un exemple de cartographie régionale). Dans 3 cas, ces modélisations eulériennes sont couplées à des modèles de dispersion fine échelle dans certaines zones de la cartographie. Cela permet de prendre en compte finement les forts

gradients de concentration dans les zones densément peuplées (à proximité des routes urbaines par exemple, voir section 3.3 pour plus de détails).

Suivant la résolution spatiale de la grille modèle, celle-ci est laissée telle quelle, auquel cas on parlera de maillage brut, ou une descente d'échelle peut être effectuée pour raffiner les concentrations sur une grille finale plus fine (voir Figure 14). Cette descente d'échelle est réalisée de deux manières distinctes : soit en utilisant directement des techniques de krigeage, l'information contenue dans les observations est alors utilisée pour estimer les concentrations sur une grille plus fine ; soit en utilisant des techniques de raffinement de maillage prenant en compte l'altitude et les émissions (modèle GIRAFE développé par Air Rhône-Alpes).

Dans ce dernier cas, ainsi que dans le cas d'un maillage brut, un krigeage (sans changement de maillage) peut être ensuite effectué pour prendre en compte l'information des observations (voir section suivante pour plus de détails sur la prise en compte des observations).

Dans un cas, la cartographie finale ne repose pas sur un maillage mais consiste en un ensemble d'isosurfaces de concentration obtenues via une méthode d'interpolation dite « triangulation de Delaunay ».



**Figure 14: cartographie à l'échelle régionale – répartition des cartographies selon la méthode employée pour obtenir le maillage final**

#### Prise en compte des observations :

Les cartographies régionales obtenues à l'aide de modèles prennent en compte l'information contenue dans les observations par des méthodes de krigeage (16 cas), d'interpolation optimale (1 cas) ou par des méthodes statistiques (2 cas). Dans certains cas, ces méthodes de krigeage sont également utilisées pour descendre d'échelle si aucun raffinement de maillage n'a été préalablement réalisé, mais dans d'autres, elles sont employées sans que la résolution finale ne diffère de la résolution du modèle (maillage brut). Parmi les méthodes mises en œuvre, on trouve le krigeage des innovations, le krigeage avec dérive externe et le cokrigeage colocalisé.

#### 4.1.2.2 Cartographie à l'échelle urbaine

Lorsque la zone ciblée pour estimer la population exposée est l'agglomération, des modèles de dispersion sont mis en œuvre. Le modèle SIRANE est utilisé dans 3 cas. Les calculs de ce modèle se font sur une grille régulière fine (10m\*10m ou 20m\*20m). Au vu de la résolution fine de cette grille, elle est directement utilisée pour la cartographie finale. Dans tous les autres cas, le modèle ADMS-Urban est utilisé (voir exemple de cartographie finale Figure 15).



**Figure 15: exemple de cartographie urbaine (concentration en NO2 sur Nancy), établie à partir du modèle ADMS-Urban (source: Air Lorraine)**

Le modèle propose un « maillage intelligent » où les points récepteurs (où sont effectués les calculs) sont automatiquement répartis, avec une densité de points plus importante près des grandes sources, en l'occurrence les axes routiers. L'utilisateur peut également définir son propre maillage (c'est-à-dire répartir les points récepteurs suivant ses besoins). C'est le cas dans 29% des cas, pour lequel le maillage intelligent n'est pas utilisé. A partir des résultats du modèle aux points récepteurs, il faut ensuite cartographier la pollution sur une grille « finale ». Dans la majorité des cas, une grille régulière est créée et les concentrations aux points récepteurs sont interpolées (en général par une méthode de krigeage sans dérive externe ou d'interpolation simple, du type « voisin naturel ») (Figure 17). Dans 2 cas, les observations (mesures fixes, données de campagnes) sont directement utilisées dans la méthode de cartographie en utilisant un krigeage des observations avec le modèle en dérive externe. Dans 2 cas également, la cartographie finale n'est pas effectuée sur une grille régulière, mais à partir de couches vectorielles de concentrations identiques (isosurfaces). Ces isosurfaces sont créées à partir des résultats du modèle aux points récepteurs en utilisant l'extension « Geostatistical Analyst » d'ArcGIS dans un cas (source : Air PACA), et suivant une triangulation de Delaunay dans l'autre (source : Air Pays-de-la-Loire).



Figure 16: exemple de cartographie des résultats du modèle ADMS sur des isosurfaces établies d'après une triangulation de Delaunay (source: Air Pays-de-la-Loire)

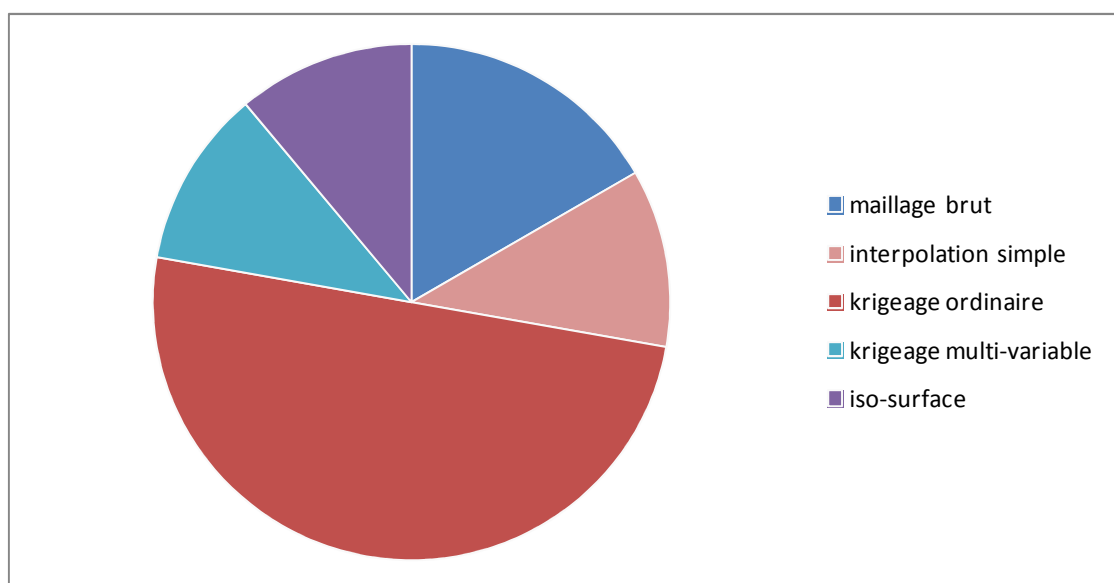


Figure 17: cartographie à l'échelle urbaine – répartition des cartographies selon la méthode employée pour obtenir le maillage final

### Prise en compte des observations

La majorité des modélisations à l'échelle urbaine utilise les données d'observations en amont, soit comme données d'entrée des modèles afin d'estimer la pollution de fond, soit pour « caler » le modèle. Seules 4 cartographies urbaines utilisent les observations en aval pour « redresser » les cartographies. 2 cartographies sont basées sur des techniques de krigeage (ModMes.1) impliquant des stations fixes et des résultats de campagnes de mesures, éventuellement ajustés sur l'année en utilisant des ratios d'évolution obtenus à partir des stations fixes. Deux autres cartographies sont simplement redressées par une

correction statistique grâce aux observations des stations fixes (ModMes.2). Par exemple, l'ensemble des concentrations sur la zone ciblée sont incrémentées de la moyenne des stations de fond sur cette zone (sans distinction spatiale).

## 4.2 CARTOGRAPHIE DES DEPASSEMENTS

Trois méthodes de cartographie des dépassements ont été recensées parmi les réponses au questionnaire :

- La première consiste à faire un « seuillage » : identifier les mailles ou les isosurfaces dont les concentrations dépassent un certain seuil. C'est la méthode la plus largement utilisée.
- La deuxième consiste à compléter le seuillage par un traitement spécifique des brins routiers. Cette méthode est employée dans un cas (voir Figure 18) et vise à pallier les discontinuités parfois observées dans les cartographies urbaines à proximité des routes. Afin de s'assurer d'une meilleure continuité, une enveloppe est créée le long de brins routiers en dépassement dont la largeur dépend de la concentration modélisée. Toute la zone à l'intérieur de ces brins est alors considérée comme en dépassement.



**Figure 18: exemple de traitement particulier des brins routiers afin de limiter les non-continuités engendrées par l'utilisation du modèle urbain (source: Atmo Auvergne)**

- La troisième méthode est fondée sur le principe de probabilité de dépassement (de 0 à 1) plutôt que d'un seuillage classique (voir Figure 19). Chaque zone du domaine se voit attribuer une probabilité de dépassement, plutôt qu'un attribut « dépassement » ou « non-dépassement ». Le calcul de cette probabilité de dépassement peut se faire soit par méthode géostatistique linéaire ou non-linéaire soit par simulations géostatistiques. Parmi les réponses au questionnaire, seules deux cartographies utilisent les probabilités de dépassement.

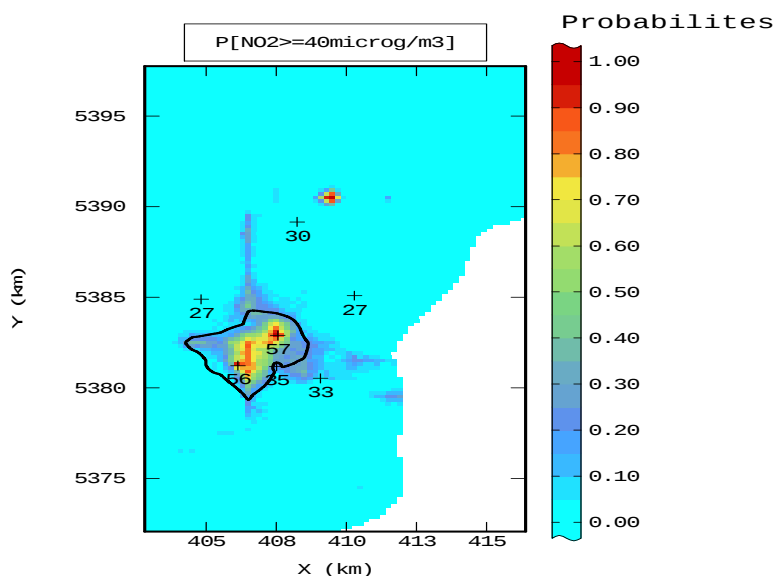


Figure 19: exemple de probabilité de dépassement estimée sur la région alsacienne (source: ASPA)

### 4.3 ESTIMATION DE LA POPULATION EXPOSEE

Généralement l'AASQA dispose de données de population réparties sur chacun des bâtiments de la zone étudiée. Ainsi pour estimer la population exposée à un seuil réglementaire, il convient de combiner ces données de population avec la cartographie des zones en dépassements. L'estimation de la population exposée dépend ainsi du type de cartographie de dépassement qui est mis en œuvre.

- Une zone de dépassement est estimée :

Une fois la zone en dépassement estimée, la population vivant dans cette zone doit être évaluée. Dans la grande majorité des cas, le croisement des données de population avec la zone en dépassement se fait au prorata de la surface de bâtiments incluse dans la zone de dépassement. Parmi les réponses au questionnaire, seules deux études mentionnent un calcul de population exposée différent. Dans un cas, la population exposée est l'agrégation (sans pondération) de la population contenue dans tous les bâtiments intersectant la zone de dépassement. Cette méthode est utilisée car la cartographie des concentrations associées est considérée comme minorante. Dans le second cas, la population d'un bâtiment est répartie entre les mailles dont le centre est localisé dans le bâtiment. Une fois la population répartie sur le maillage, la population exposée est simplement la somme des populations contenues dans les mailles en dépassement.

- Une probabilité de dépassement est estimée :

Deux cas peuvent être distingués. Dans le premier cas, un seuillage de la probabilité de dépassement est effectué : sont considérées en dépassements toutes les zones dont la probabilité de dépasser est égale ou supérieure à un certain seuil, par exemple 50%. Une fois la zone en dépassement déterminée, l'estimation de la population exposée se fait au prorata de la surface de bâtiments incluse dans la zone. Dans le second cas, les cartes de probabilité de dépassement ont été établies grâce à des simulations géostatistiques (un grand nombre

N de simulations sont effectuées et la cartographie finale correspond à la moyenne de ses simulations). La population exposée est alors calculée pour chaque simulation (au prorata de la surface de bâtiments incluse dans la zone en dépassement). Il est donc possible d'estimer une distribution probabiliste de la population exposée (à partir de ces N estimations de la population exposée). Dans ce dernier cas de figure, du fait de la méthode employée, la population exposée ne peut être représentée sur une carte.

## 5. CONCLUSION

---

L'exploitation des réponses au questionnaire a permis de dresser un état des lieux relativement complet sur les méthodes de cartographie mises en œuvre par les AASQA, et en particulier sur les méthodes utilisées pour estimer l'exposition des populations à des dépassements de seuils réglementaires. Elle met en évidence les similarités et variabilités dans les pratiques, résumées brièvement ci-après, et dont le travail méthodologique d'harmonisation devra tenir compte.

Les réponses recueillies montrent un large recours à la modélisation, quel que soit le domaine d'étude. A l'échelle régionale, les résultats des modèles sont généralement combinés avec des données d'observation (mesures fixes principalement) ; des méthodes de krigeage sont le plus souvent appliquées. A l'échelle urbaine, les pratiques sont plus variables ; les observations, lorsqu'elles sont utilisées, constituent une donnée d'entrée des modèles (pollution de fond) et/ou servent au post-traitement des simulations obtenues (par krigeage ou correction statistique). La présentation finale des résultats diffère selon les AASQA : conservation de la grille brute du modèle, raffinement de la grille, création d'iso-surfaces. Les zones en dépassement sont majoritairement définies par seuillage, avec un traitement éventuel des discontinuités ; l'usage d'une approche probabiliste reste ponctuel.

La cartographie à partir d'observations, sans mise en œuvre de modèle déterministe, ne représente qu'une part limitée des réponses fournies. A l'échelle urbaine notamment, l'élaboration de cartographies par exploitation géostatistique de données de campagne (complétées le cas échéant par des variables auxiliaires) semble devenue minoritaire. Ce type d'approche a été longtemps pratiqué par les AASQA et étudié par le LCSQA ; il conviendra d'examiner plus en détail son utilité et son utilisation actuelle et d'évaluer la nécessité de maintenir des travaux à ce propos.

Le croisement des zones en dépassement avec les données de population spatialisées s'effectue généralement au prorata des surfaces de bâtiments intersectées mais cette pondération n'est pas systématiquement appliquée.