



Cartographie régionale du Benzo(a)Pyrène



CARTOGRAPHIE DE L'ANNEE 2012

www.air-rhonealpes.fr



Diffusion : mars 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





Air Rhône-Alpes est issu du rapprochement de 6 associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'Air (Air-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY, SUP'AIR). Cette régionalisation a eu lieu le 1^{er} janvier 2012 et a eu lieu suite aux orientations prises par le Grenelle de l'Environnement et transcrites par Décret Ministériel (2010-1268 du 22 octobre 2010).

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

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) Cartographie régionale du benzo(a)pyrène** ».

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
- par mail : 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.

Sommaire



1. Contexte et introduction	5
1.1.1. Valeur réglementaire	5
1.1.2. Historique	5
1.1.3. Objectifs de l'étude	6
2. Hypothèses de Modélisation	7
2.1. Choix des espèces	7
2.2. Cadastre	8
2.2.1. Cadastre pris en compte dans les modélisations	8
2.2.2. Répartition des émissions de BaP en Rhône-Alpes	9
2.3. Modélisation	9
2.3.1. Présentation du modèle PREVALP	9
2.3.2. Hypothèse de calcul de la chaîne PREVALP	10
2.4. Les mesures	10
2.4.1. Mesures fixes	11
2.4.2. Mesures temporaires	11
3. Résultats des modélisations	12
3.1. Modélisation brute en sortie de chaîne PREVALP	12
3.2. Cartographie optimisée	13
3.2.1. Méthodologie	13
3.2.2. Comparaison aux mesures : validation	14
4. Pistes d'amélioration	17



Résumé



La communauté européenne a établi, via la directive du 15 décembre 2004, une réglementation pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et plus particulièrement une valeur cible annuelle pour le benzo(a)pyrène (BaP) en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2012.

Afin de tenter d'identifier plus précisément les surfaces du territoire en dépassement par rapport à la valeur réglementaire, et de caractériser le degré d'exposition des populations, une cartographie du Benzo(a)pyrène a été mise au point sur la région Rhône-Alpes.

Dans le cadre des actions 4 et 6 du PRSE2 Rhône-Alpes concernant la gestion des zones de multi-exposition, des mesures temporaires au cours de l'année 2012 ont été effectuées afin de renforcer le réseau de mesures fixes et ont fait l'objet d'un premier rapport d'étude (phase 1 de la convention pour la cartographie annuelle du Benzo(a)pyrène).

Le modèle PREVALP a été utilisé pour cartographier annuellement la pollution du Benzo(a)pyrène. Même si les variations spatiales sur l'ensemble de la région sont globalement bien représentatives des phénomènes physiques, il est apparu que la modélisation sous estime fortement les concentrations dans les vallées et sur les zones exposées, où l'on note une grande différence entre modélisation et mesure (sur Passy, concentration brute 0.42 ng.m^{-3} contre 1.80 ng.m^{-3} en concentration mesurée). L'enjeu des HaP étant particulièrement important dans les vallées alpines, une correction statistique de la modélisation brute a été nécessaire.

Un krigeage des mesures fixes et des mesures temporaires a par conséquent été effectué et plusieurs tests de sensibilité ont été menés pour affiner au mieux la cartographie (prise en compte d'une variable auxiliaire, test sur le variogramme, ajout de stations virtuelles).

La méthodologie mise au point a ainsi permis d'améliorer significativement les résultats par rapport à la modélisation brute : même si elle peut dégrader le rendu au niveau de certaines stations en milieu urbain (les Frênes, Le Rondeau, Lyon centre) elle a permis d'améliorer efficacement les résultats sur les zones à plus fort enjeu où les concentrations sont plus élevées : en particulier dans les vallées, et sur les zones influencées (Lyon 8eme, Vénissieux Village). Même si les résultats ont été améliorés par rapport à la modélisation brute, l'incertitude reste, sur les stations de l'agglomération grenobloise et sur certaines de Lyon, au dessus du seuil de 50% (objectif qualité de la directive européenne).

Le travail réalisé a également pu mettre en évidence des pistes d'amélioration comme l'ajout de stations de mesures pour affiner le krigeage. Il ressort également qu'une mise à jour du cadastre pourrait améliorer les résultats : la phase suivante de la convention permettra de compléter et consolider les facteurs d'émission et la méthodologie pour certains secteurs d'activités spécifiques.



1. Contexte et introduction

1.1.1. Valeur réglementaire

La communauté européenne a établi, via la directive du 15 décembre 2004, une réglementation pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et plus particulièrement une valeur cible annuelle pour le benzo(a)pyrène (BaP) en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2012. Cette valeur cible est de 1ng.m^{-3} .

1.1.2. Historique

Dans la région Rhône-Alpes, les premières mesures en routine des HAP dans l'air ambiant remontent à 2001 dans les départements de l'Isère et du Rhône, dans le cadre d'un programme pilote national.

Les premiers résultats montraient que les concentrations en Rhône-Alpes étaient plus élevées que les autres régions françaises. A la suite de ce programme, un véritable plan de surveillance des HAP a été mis en place sur la région afin de surveiller les niveaux de concentrations de ces polluants dans différents environnements (Proximité industrielle et trafic, milieu urbain ou rural).

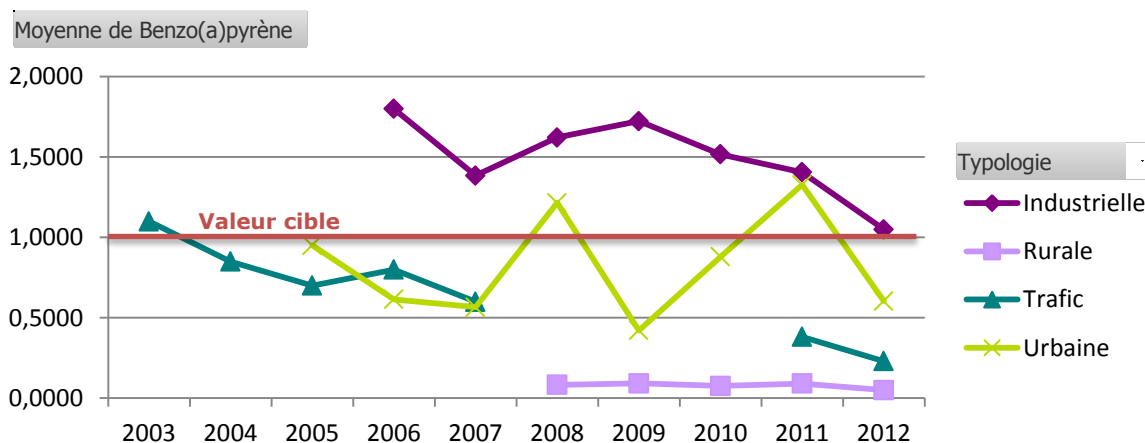


FIGURE 1 : CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE BENZO(A)PYRENE DEPUIS 2003
CLASSEES PAR TYPOLOGIE¹ SUR LA REGION RHONE-ALPES

Les résultats de ce suivi régulier montrent une forte variabilité annuelle en milieu urbain : entre 2005 et 2012, les concentrations annuelles moyennes de nos sites oscillent entre 0.4 et 1.3ng.m^{-3} et dépassent donc la valeur réglementaire de 1ng.m^{-3} .

Les concentrations mesurées en proximité trafic montrent une baisse significative depuis le début de la surveillance en 2003 : l'effet de la modernisation du parc automobile est probablement à l'origine de cette amélioration.

En milieu rural, éloigné de zone résidentielle, les niveaux sont faibles, constants et bien en deçà de la valeur réglementaire.

En revanche, les niveaux mesurés en proximité d'industries émettant des HAP, sont nettement supérieurs aux environnements urbains et en proximité automobiles. En effet,

¹ Stations industrielles (lorsqu'elles sont disponibles) : Vénissieux Village, Hermillon, La Léchère.

Station Rurale (lorsqu'elle est disponible) : Drome Rurale Sud.

Stations Trafic (lorsqu'elles sont disponibles) : Le Rondeau, Etats-unis, St Julien Montdenis, Lyon Périphérique Est.

Stations urbaines (lorsqu'elles sont disponibles) : Cluses, Grenoble les Frenes, Loverchy, Lyon 8^e, Lyon Centre, Mermoz, Passy, Saint Etienne Sud, Saint Jean, Sallanches.

les concentrations de Benzo(a)pyrène mesurées à proximité d'industries émettrices sont depuis 2006 systématiquement supérieur à la valeur cible de 1ng.m^{-3} .

Des précédentes études (Particul'Air 2011, INERIS 2004) ont montré également que les zones rurales de montagnes ne sont pas épargnées et peuvent, en période hivernale et, avec une météorologie défavorable, enregistrer également des concentrations élevées de HAP.

1.1.3. Objectifs de l'étude

Afin d'identifier plus précisément les surfaces du territoire en dépassement, et de caractériser le degré d'exposition des populations, il convient donc de disposer d'une vision cartographique du Benzo(a)pyrène en Rhône-Alpes
C'est l'objet de cette étude qui s'inscrit dans le cadre des actions 4 et 6 du PRSE2 Rhône-Alpes concernant la gestion des zones de multi-exposition.

Afin de répondre au mieux à la problématique cartographique, une première phase de mesures (action 1) a été menée en zone rurale de montagnes : 3 sites ont été investigués pendant 4 périodes de 2 semaines au cours de l'année 2012. Le présent rapport traite de la seconde phase « Réalisation d'une cartographie modélisée des concentrations 2012 de Benzo(a)Pyrène sur le territoire de Rhône-Alpes ».



2. Hypothèses de Modélisation

2.1. Choix des espèces

Les HAP sont réglementés par la directive européenne 2004/107/CE du 15 décembre 2004.

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'une cartographie du Benzo(a)pyrène. Certains autres HAP ont été introduits dans la modélisation pour une meilleure représentativité cartographique du Benzo(a)pyrène. Il s'agit du Benzo(b)fluoranthène, et du Benzo(k)fluoranthène, dont certaines équations chimiques sont prises en compte dans la version actuelle de Chimère.

Les trois espèces traitées dans cette étude seront par la suite notés :

- Benzo(b)fluoranthène : BbF
- Benzo(k)fluoranthène : BkF
- Benzo(a)pyrène : BaP

La plupart des HAP proviennent de la combustion incomplète de bois, et de composés aromatiques, ainsi un composé comme le benzo(a)pyrène est un bon traceur de l'ensemble de la famille des HAP.

Benzo(a)pyrène : BaP INERIS 2006

Le benzo(a)pyrène est présent dans les combustibles fossiles. Il est également formé lors de combustions incomplètes puis rejeté dans l'atmosphère où il est présent majoritairement dans la phase particulaire du fait de sa tension de vapeur extrêmement faible. Dans l'atmosphère, la phase vapeur dépasse rarement 10 % de la concentration totale en benzo(a)pyrène. Les sources naturelles d'émission sont les éruptions volcaniques et les feux de forêts. Le benzo(a)pyrène est également synthétisé par des plantes, des bactéries et des algues. Sa présence dans l'environnement est d'autre part d'origine anthropique : raffinage du pétrole, du schiste, utilisation du goudron, du charbon, du kérosène, sources d'énergie et de chaleur, revêtements routiers, fumée de cigarette, échappement des machines à moteur thermique, huiles moteur, carburants, aliments fumés ou grillés au charbon de bois, huiles, graisses, etc...

La volatilisation du benzo(a)pyrène depuis les sols ou les surfaces aquatiques est très peu importante. C'est une substance stable jusqu'à des températures très élevées. En solution, il s'oxyde sous l'influence de la lumière, de l'air et de la chaleur. La version actuelle de chimère traduit uniquement une perte du BaP à travers des équations du type $BaP+OH \rightarrow X$ sans nouveaux éléments de BaP créés.

Benzo(b)fluoranthène : INERIS 2005

La présence de BbF dans l'environnement est uniquement anthropique, elle résulte de la combustion incomplète d'hydrocarbures, ou de charbon.

Le raffinage du pétrole, la cokéfaction du charbon et le trafic automobile constituent des sources d'exposition importantes.

Benzo(k)fluoranthène : INERIS 2005

Lors de combustions incomplètes, le BkF est rejeté dans l'atmosphère où il est essentiellement présent sous forme particulaire du fait de sa tension de vapeur extrêmement faible. On le trouve également dans la fumée de cigarette, dans les gaz d'échappement d'automobiles, dans les émissions provenant de la combustion de charbons ou d'huiles, dans les huiles moteur et le goudron de charbon. Il peut être libéré dans l'hydrosphère lors du lessivage par la pluie de stocks de charbon.



2.2. Cadastre

2.2.1. Cadastre pris en compte dans les modélisations

Air Rhône-Alpes développe et enrichit en continu depuis plus de dix ans un inventaire régional des émissions atmosphériques qui s'appuie sur le **référentiel français OMINEA** (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France) développé par le **CITEPA** (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). Les calculs se basent sur plus de 400 activités recensées au sein de la **classification européenne SNAP** (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Les sources prises en compte sont classées en fonction de la nature de l'activité considérée :

- **sources fixes anthropiques** : industries (Grandes Sources Ponctuelles (GSP), PMI/PME), secteurs résidentiel et tertiaire par usage (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson...);
- **sources mobiles** : transports routier, ferroviaire, aérien et fluvial ;
- **sources biogènes** : agriculture, sylviculture et nature (sols, végétation).

Le schéma suivant synthétise la façon dont sont calculées l'ensemble des émissions.

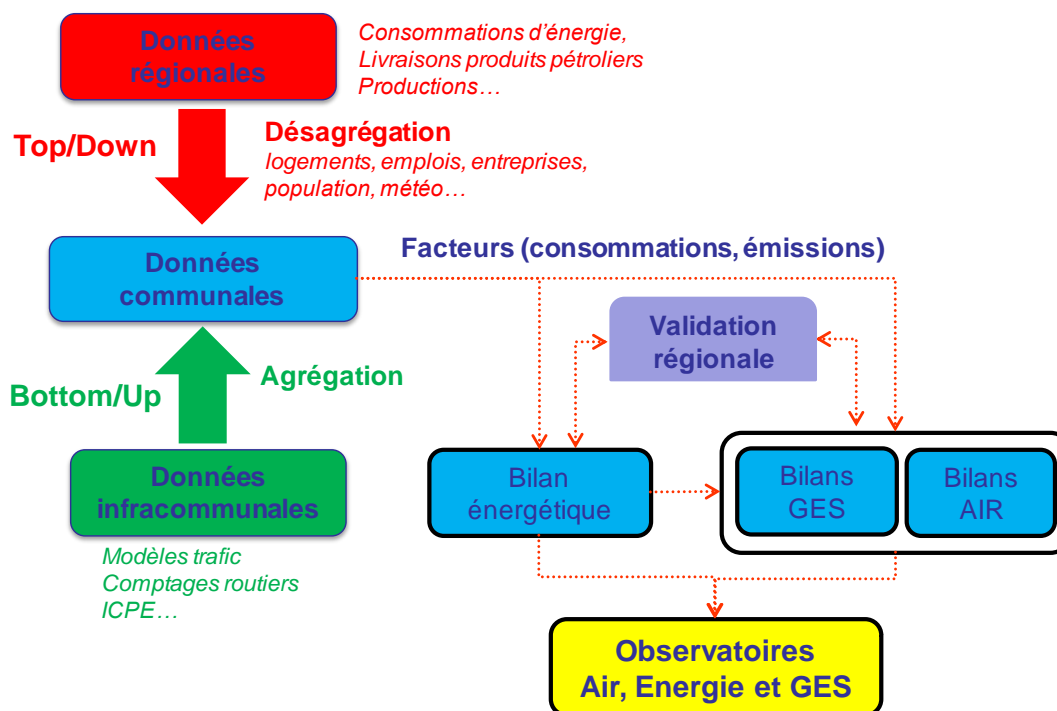


FIGURE 2 : SCHEMA GENERAL DE CALCUL DES EMISSIONS DE POLLUANTS

La version 2010v43 du cadastre a été utilisée pour cette étude. Les principales mises à jour de cette version sont :

- Sur les particules fines, à l'échelle régionale, division par 4 des émissions des carrières et par 2.5 des émissions des chantiers/BTP, suite à raffinement/amélioration méthodologique.
- Rééquilibrage des veh.km sur la région, suite à l'intégration des modèles trafic 2010 et à un travail sur l'identification des voies de plus de 5000 veh/jour.

2.2.2. Répartition des émissions de BaP en Rhône-Alpes

En air ambiant, le BaP est principalement produit par combustion incomplète de composés aromatiques.

En Rhône Alpes, presque 70% des émissions de BaP proviennent du secteur résidentiel : le chauffage au bois et le brûlage des déchets verts à l'air libre sont des sources importantes de HaP et plus spécifiquement du BaP. L'industrie représente plus de 19% des émissions de BaP. Le trafic englobe 8% des émissions de la région, principalement à cause des gaz d'échappement en cas de combustion insuffisante, la taille des molécules de BaP n'étant pas suffisante pour permettre leur piégeage par les filtres à particules.

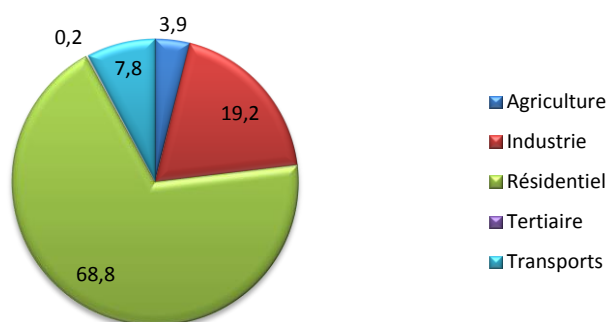


FIGURE 3 : REPARTITION DES EMISSIONS DE BAP EN % EN RHONE ALPES POUR L'ANNEE 2010

2.3. Modélisation

2.3.1. Présentation du modèle PREVALP

Depuis 2006, PREVALP est utilisé par l'observatoire de l'air de Rhône-Alpes pour la surveillance par modélisation de la région. La plateforme régionale permet de calculer des concentrations horaires en divers polluants réglementés (ozone, oxydes d'azote, PM₁₀, PM_{2,5}) en tout point du territoire. Cette modélisation est basée sur une modélisation en 3 dimensions de la météorologie et des émissions de polluants.

Le calcul météorologique est réalisé depuis 2008 avec le modèle WRF (Weather and Research Forecast) du NCAR. WRF calcule la météorologie sur les différents domaines et alimente ensuite le modèle CHIMERE.

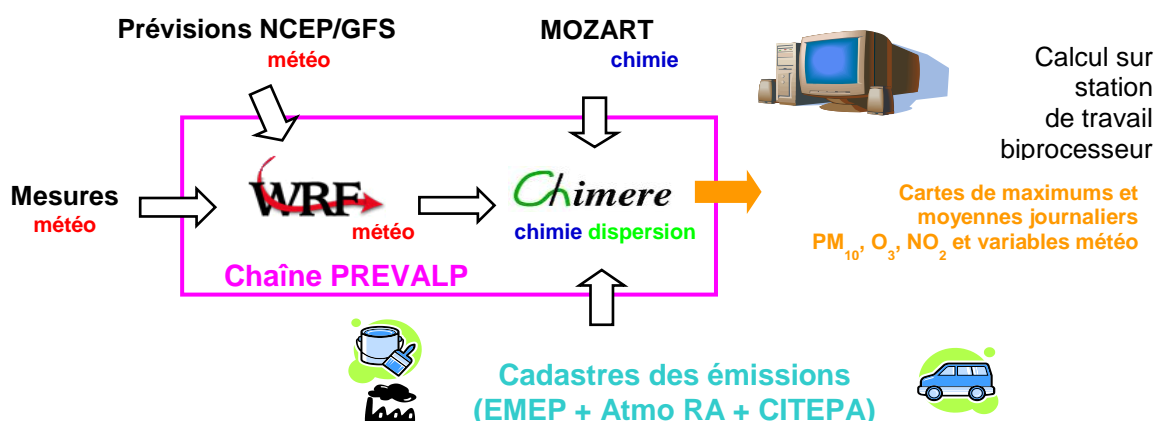


FIGURE 4 : ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS COMPOSANTS DE LA CHAÎNE DE MODELES

Le modèle CHIMERE est un modèle de chimie-transport issu de la recherche et développé à l'IPSL (Institut Pierre-Simon LAPLACE) à Paris. Ce modèle prend en compte, entre autre, les émissions de la zone étudiée et regroupe différents modules traitant du transport, de la dispersion, des réactions chimiques dans l'atmosphère, de la déposition humide et sèche et de la physique des particules.

La pollution de fond ainsi calculée est représentative des émissions provenant du trafic à l'extérieur de la zone ou d'autres sources de pollution complémentaires au trafic automobile (chauffage, industrie, agriculture...).

2.3.2. Hypothèse de calcul de la chaîne PREVALP

Domaine

Le calcul de modélisation a été effectué sur l'ensemble de la région rhônalpine.

Période simulée

L'ensemble de l'année 2012 a été simulée pour la météorologie et pour le calcul des concentrations en BaP.

Météorologie

L'évolution des paramètres décrivant l'atmosphère au cours de l'année 2012, à la résolution de $1 \times 1 \text{ km}^2$, a été calculée sur les champs météorologiques à grande échelle fournis par le NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Résolution

La résolution de la chaîne PREVALP sur cette étude est de 3km. Un travail de comparaison de différentes méthodes d'interpolation a permis d'améliorer le rendu cartographique de la sortie du modèle.

Réaction chimiques

Concernant les HAP, dans la configuration actuelle de CHIMERE, seuls le Benzo(b,k)fluoranthène, et le Benzo(a)pyrène sont pris en compte dans les équations chimiques.

Les HaP se trouvant à la fois sous forme gazeuse et particulaires dans l'air, les échanges entre les 2 phases sont traités par le modèle. Les 3 espèces de HAP sont introduites dans la modélisation comme des espèces réactives : chaque espèce est détruite en phase gazeuse par une cinétique d'ordre 1 par rapport au radical OH. La constante cinétique est de 5.00×10^{-11} , 1.86×10^{-11} et $5.36 \times 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivement pour le BaP, BbF, et BkF.

2.4. Les mesures

Des mesures fixes et temporaires ont été effectuées au cours de l'année 2012. En plus de la surveillance réglementaire, l'objectif de ses mesures est triple pour la cartographie :

- 1- connaître les concentrations en des points précis du territoire pour étudier les évolutions, variations temporelles, et l'influence d'une éventuelle source d'émissions (industriel, trafic)
- 2- Améliorer la précision cartographique grâce à la prise en compte des mesures en sortie de modélisation
- 3- Valider la cartographie en comparant statistiquement la modélisation aux mesures.

Nom de la station	Mesures ng.m ⁻³	Modélisation ng.m ⁻³	Différence en ng.m ⁻³	Différence en %
le_rondeau	0,23	0,29	0,06	25
les_frenes	0,27	0,29	0,02	8
venissieux_village	1,12	0,23	-0,89	-80
lyon_centre	0,27	0,25	-0,02	-6
lyon_8eme	0,60	0,24	-0,36	-60
st_etienne_sud	0,21	0,15	-0,06	-27
la_lechere	0,98	0,18	-0,80	-81
loverchy	0,46	0,23	-0,23	-50
passy	1,81	0,42	-1,39	-76
DRS	0,01	0,05	0,04	359
Feyssons*	0,82	0,17	-0,64	-79
Lecheraines*	1,3	0,10	-1,20	-92
Montanges*	0,28	0,05	-0,23	-81

*Stations temporaires année 2012

FIGURE 7 : COMPARAISON EN MOYENNE ANNUELLE ENTRE MODELISATION BRUTE DU BAP ET LES MESURES

LES MESURES PRESENTES DANS CE TABLEAU CORRESPONDENT AUX MOYENNES ANNUELLES CALCULEES SUR L'ECHANTILLONNAGE TEMPOREL (UN JOUR SUR 3 OU SUR 6 POUR LES MESURES FIXES, 4 CAMPAGNES DE 2 SEMAINES POUR LES MESURES TEMPORAIRES). LES CONCENTRATIONS DE MODELISATION SONT EN REVANCHE CALCULEES POUR CHAQUE JOUR. LA MOYENNE ANNUELLE DE MODELISATION CORRESPOND DONC A LA MOYENNE DE TOUS LES JOURS DE L'ANNEE.

3.2. Cartographie optimisée

3.2.1. Méthodologie

Le krigeage est une méthodologie d'interpolation spatialisée. Cette méthode a permis d'intégrer les mesures dans la cartographie afin d'affiner les représentations cartographiques. L'élaboration du variogramme de krigeage permet ainsi de contrôler les paramètres d'influence des mesures sur la cartographie brute.

Au final, la cartographie brute annuelle est corrigée via les mesures annuelles des stations fixes de l'année 2012 par dérive externe.

Les premiers résultats de krigeage des 10 stations fixes montrent que :

- 1- La méthodologie mise en place permet de corriger efficacement les concentrations dans un rayon d'influence autour des stations fixes mais pas sur l'ensemble de la région. Les stations fixes ne sont pas suffisamment nombreuses pour effectuer une correction du modèle brut sur la totalité du territoire.
- 2- Les variations géographiques des concentrations sont retranscrites dans la modélisation, mais ne sont pas suffisamment significatives. Plus précisément, les concentrations dans les vallées augmentent bien suite au krigeage, mais restent encore trop faibles.
- 3- Le rayon d'influence des mesures lors de l'étape du krigeage n'est pas suffisamment précis et ne suit pas assez les contraintes lié au relief par exemple, en particulier dans les vallées.
- 4- Le krigeage tend à surestimer les niveaux de fond.

Afin d'améliorer le rendu cartographique, différents tests de sensibilisation de paramètres ont été menés sur l'étape du krigeage. Ces tests ont été évalués en comparant le modèle et les mesures par validation croisée³.

Ajout des stations mobiles

Les 3 mesures temporaires mise en place par campagne au cours de l'année 2012 ont permis d'estimer les concentrations moyenne en 3 nouveaux point du territoire. Ces concentrations ont ainsi pu être rajoutées à l'étape de krigeage réduisant le manque de mesures sur la région.

Prise en compte d'une variable auxiliaire

Les mesures permettent de corriger la cartographie brute dans une zone locale. Le peu de stations fixes concernant le BaP (13 sur l'ensemble de la région en comptant les stations mobiles) a amené à utiliser une variable auxiliaire fortement corrélée au BaP : la cartographie à 1km des PM_{2.5} à donc été utilisée comme variable auxiliaire.

L'ajout de la variable auxiliaire apporte au final peu de différence étant donné que les particules PM₁₀ ont déjà servi à la désagrégation spatiale du BaP.

Test de sensibilité sur le variogramme et plus particulièrement sur la portée maximale

La portée maximale correspond à la distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées linéairement. Visuellement, la portée joue sur le rayon d'influence des mesures dans la cartographie. Trois tests ont été menés sur les portées maximales : 10km, 20km et 50km. Les tests de sensibilité ont permis de fixer la portée optimale à 10km.

La modélisation avec stations mobiles, variable auxiliaire et portée optimale est appelée par la suite : modélisation optimisée.

Ajout de stations virtuelles

Le krigeage tend à surestimer les niveaux de fond. Or le modèle brut (sans krigeage) retranscrit correctement les niveaux de fond. Ainsi, le krigeage a été « forcé » pour que certains points du territoire prennent la valeur du modèle brut : ces points sont appelés « stations virtuelles ». Dans un premier temps une quarantaine de stations virtuelles ont été paramétrées pour améliorer la modélisation des niveaux de fond. Les résultats de validation croisée montraient que le modèle surestimait encore les niveaux de fond. Dans un second temps, un maillage de stations virtuelles a donc été mis au point en situation de fond.

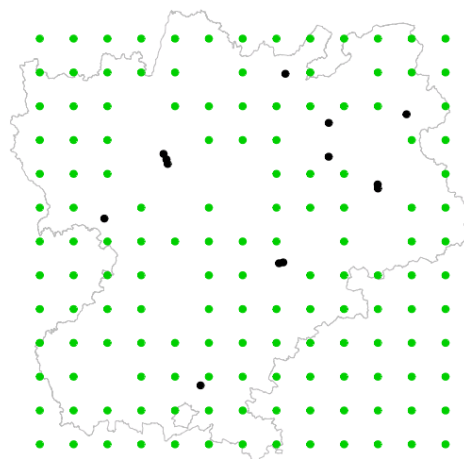


FIGURE 8 : MAILLAGE DE STATIONS VIRTUELLES. EN NOIR : STATIONS FIXES ET TEMPORAIRES. EN VERT : STATIONS VIRTUELLES

3.2.2. Comparaison aux mesures : validation

³ La validation croisée (« *cross-validation* ») est une méthode d'estimation de fiabilité du modèle fondée sur une technique d'échantillonnage : pour un ensemble de N stations, on réalise la carte avec N-1 stations puis on compare le résultat obtenu à la station non utilisée. Cette opération est répétée N fois. L'incertitude du modèle par validation croisée en une station est calculée par le pourcentage de l'écart entre la valeur modélisée à cette station (moyenne journalière) avec la simulation ne prenant pas en compte la mesure à cet endroit et la mesure.

La modélisation optimisée permet d'améliorer significativement les résultats par rapport à la modélisation brute : même si elle peut dégrader le rendu au niveau de certaines stations en milieu urbain (les Frênes, Le Rondeau, Lyon centre) elle permet d'améliorer efficacement les résultats sur les zones à plus fort enjeu où les concentrations sont plus élevées : en particulier dans les vallées, et sur les zones influencées (Lyon 8eme, Vénissieux Village).

Stations	Mesures en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Modèle brut en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Ecart Modèle brut en %	Optimisée sans station virtuelle en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Optimisée sans station virtuelle Ecart en %	Optimisée avec stations virtuelles en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Optimisée avec station virtuelles Ecart en %
le_rondeau	0,23	0,29	25	0,52	125	0,46	98
les_frenes	0,27	0,29	8	0,45	67	0,42	57
venissieux_village	1,12	0,23	-80	0,61	-45	0,51	-54
lyon_centre	0,27	0,25	-6	0,59	118	0,44	63
lyon_8eme	0,6	0,24	-60	0,75	24	0,73	22
st_etienne_sud	0,21	0,15	-27	0,55	164	0,19	-8
la_lechere	0,98	0,18	-81	0,74	-25	0,72	-26
loverchy	0,46	0,23	-50	0,69	50	0,68	49
passy	1,81	0,42	-77	0,98	-46	1,03	-43
DRS	0,01	0,05	359	0,08	656	0,04	345
feyssons	0,82	0,18	-79	0,80	-2	0,79	-4
lecheraines	1,3	0,10	-92	0,26	-80	0,26	-80
montanges	0,28	0,05	-81	0,12	-56	0,12	-58

NOTE : LES VALEURS EN ROUGES CORRESPONDENT AUX POURCENTAGES SUPERIEURS A 50%

FIGURE 9 : COMPARAISON DES DIFFERENTES MODELISATIONS (BRUTE, OPTIMISEE SANS STATIONS VIRTUELLES, OPTIMISEE AVEC STATIONS VIRTUELLES) ET LES MESURES (EN $\mu\text{g.m}^{-3}$ ET EN %)

L'ajout de stations virtuelles dans la modélisation optimisée permet d'améliorer efficacement la cartographie sur la plupart des agglomérations, mais aussi sur le fond régional, et avec de bons résultats également dans les vallées. En contre partie, cette méthodologie dégrade la modélisation sur la station de Vénissieux Village (d'environ 10%).

Même si les résultats sont améliorés par rapport à la modélisation brute, l'incertitude reste, sur les stations de l'agglomération grenobloise et sur certaines de Lyon, au dessus de 50% (objectif qualité de la directive européenne).

4. Pistes d'amélioration

Cette étude constitue une première étape dans l'élaboration cartographique du benzo(a)pyrène. Elle s'inscrit dans l'action 2 de la convention pour la surveillance en HAP de sites ruraux et cartographique du benzo(a)pyrène.

Plusieurs limites et pistes d'amélioration sont à noter :

- 1- La configuration actuelle de CHIMERE permet de modéliser les 3 principaux HAP. Un travail de cadastre sur les autres HAP, l'intégration dans CHIMERE de ces HaP et des équations de chimies associées permettraient de mieux prendre en compte les liens éventuels entre les différents HAP, et de potentiellement améliorer la cartographique brute.
- 2- Le cadastre utilisé semblent sous estimer les émissions dans certaines zones influencées. Les émissions semblent trop basses en entrée de modèle d'où des concentrations trop faibles dans les zones impactées (Vénissieux et vallées). La phase 3 de la convention permettra de compléter et consolider les facteurs d'émission et la méthodologie pour certains secteurs d'activité spécifiques : brûlages à l'air libre, industrie, chauffage au bois... En particulier, l'amélioration du nouveau cadastre permettra une meilleure répartition géographique du chauffage au bois en particulier dans les zones en altitude. L'objectif est de concentrer au mieux les émissions sur le bâti ou à défaut sur les communes les plus basses en fond de vallées.
- 3- La limite sur la représentativité des mesures : D'une part, le manque de mesures ne permet pas de faire un krigeage optimal, même si les stations virtuelles semblent être une bonne alternative. D'autre part, même si les moyennes des mesures effectuées tous les 3 ou 6 jours permettent d'estimer correctement la moyenne annuelle, elles impliquent malgré tout un biais d'environ 17% par rapport à des mesures moyennées quotidiennement.

Table des illustrations



FIGURE 1 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE BENZO(A)PYRENE DEPUIS 2003	5
FIGURE 2 : SCHEMA GENERAL DE CALCUL DES EMISSIONS DE POLLUANTS	8
FIGURE 3 : REPARTITION DES EMISSIONS DE BAP	9
FIGURE 4 : ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS COMPOSANTS DE LA CHAINE DE MODELES	9
FIGURE 5 : RESEAU 2012 DE MESURES DES HAP. EN ROUGE : STATION FIXE, EN ORANGE : STATIONS TEMPORAIRES	11
FIGURE 6 : CARTOGRAPHIE BRUTE DU BAP A UNE RESOLUTION DE 1KM (CARTOGRAPHIE DU MODELE PREVALP RAFFINEE SELON LA REPARTITION SPATIALE DES PM10)	12
FIGURE 7 : COMPARAISON EN MOYENNE ANNUELLE ENTRE MODELISATION BRUTE DU BAP ET LES MESURES...	13
FIGURE 8 : MAILLAGE DE STATIONS VIRTUELLES. EN NOIR : STATIONS FIXES ET TEMPORAIRES. EN VERT : STATIONS VIRTUELLES	14
FIGURE 9 : COMPARAISON DES DIFFERENTES MODELISATIONS (BRUTE, OPTIMISEE SANS STATIONS VIRTUELLES, OPTIMISEE AVEC STATIONS VIRTUELLES) ET LES MESURES (EN $\mu\text{G.M}^{-3}$ ET EN %)	15
FIGURE 10 : CARTOGRAPHIE 2012 DU BAP SUR LA REGION RHONE-ALPES EN $\mu\text{G.M}^{-3}$	16

Bibliographie



Airparif, juillet 2013 : Pollution atmosphérique au Benzo(a)pyrène et autres hydrocarbures aromatiques polycycliques

INERIS, mars 2011 : modélisation simplifiée des dépôts de HAP avec CHIMERE, cartographie des dépôts

Air Rhône-Alpes, 2012 : Mesures d'hydrocarbures aromatiques polycycliques dont le benzo(a)pyrène en zone rurale de l'Ain et de Savoie.

