



Qualité de l'air

Etudes

Octobre 2004



Optimisation du réseau de surveillance du dioxyde de soufre dans la région de l'étang de Berre - Résultats -



Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région de l'Etang de Berre et de l'Ouest des Bouches-du-Rhône

Route de la Vierge - 13 500 Martigues - Tel. 04 42 13 01 20 - Fax. 04 42 13 01 29

Site internet: www.airfobep.org - e-mail : airfobep@airfobep.org

Serveur vocal 04 42 49 35 35 (selon tarification téléphonique en vigueur)





Résumé

La pollution par le dioxyde de soufre constitue une problématique majeure de la région de l'étang de Berre [1]. Dans ce cadre, AIRFOBEP a réalisé une étude pour optimiser le réseau de surveillance de ce polluant. Après un premier volet méthodologique [2], cette partie s'attache à l'optimisation du réseau proprement dite. Cette optimisation a été réalisée dans un souci économique, mais surtout avec la préoccupation d'une meilleure surveillance de la qualité de l'air et d'une meilleure information de la population conformément aux missions d'AIRFOBEP.

La première étape a consisté à qualifier le réseau actuel en tant qu'indicateur des phénomènes de pollution de fond et de pointe. Ainsi, 20 stations sur les 28 que compte actuellement le réseau, caractérisent à la fois la pollution de fond et la pollution de pointe.

La deuxième phase de l'étude se concentre sur l'optimisation du réseau en confrontant les résultats d'un algorithme mathématique de positionnement des stations avec différents résultats d'évaluation de la qualité de l'air disponibles.

L'étude aboutit principalement aux propositions suivantes :

- *Compléter la surveillance dans les zones où les données sur la pollution sont jugées incomplètes.*

C'est le cas de la zone d'Ensuès/le Rove pour laquelle il est envisagé de mener une évaluation temporaire de la qualité de l'air afin d'identifier d'éventuelles pollutions directionnelles. L'opportunité de mettre en place une surveillance continue dans cette zone sera étudiée à la lumière de cette évaluation.

- *Envisager l'allègement du dispositif de surveillance dans les zones ne correspondant pas aux critères réglementaires d'une surveillance par la mesure en continu en privilégiant une surveillance discontinue.*

C'est le cas des zones où sont actuellement implantées les stations d'Arles, de Saint-Martin-de-Crau, de Port-Saint-Louis, et de Salon-de-Provence. Dans ces zones, d'un point de vue réglementaire, étant donné les faibles niveaux de concentrations en dioxyde de soufre, la mesure en continu n'est pas obligatoire. D'autres méthodes de surveillance, a priori moins coûteuses, pourraient s'y substituer. Ainsi, il pourrait être envisagé une mesure discontinue via un échantillonnage de l'air par période de 15 jours tous les deux mois. D'un point de vue financier, plus le nombre de polluants mesurés en continu dans une même station est important, plus le coût de cette surveillance rapportée à un polluant diminue (cf. tableau suivant).

Coût HT annuel	Modalités de mesure du polluant SO ₂	
	Discontinues	Continues
1 Polluant (SO ₂)	5 900€	6 900€
3 Polluants (SO ₂ + 2 polluants en continu)	14 900 €	11 100€
5 Polluants (SO ₂ + 4 polluants en continu)	19 100€	15 300€

Ainsi, l'alternative d'une mesure discontinue est justifiée par rapport à une mesure en continu si celle-ci est effectuée dans une station mesurant un seul polluant (5 900 €/an au lieu de 6 900 €/an). C'est le cas de la station Port-Saint-Louis. En revanche, dans les cas où la station de surveillance mesure simultanément en continu plusieurs polluants (cas des stations d'Arles, de Saint-Martin et de Salon-de-Provence), l'intérêt financier de la mesure discontinue est moindre.

Le tableau suivant compare les avantages et les limites des différentes modalités de surveillance du dioxyde de soufre, pour une station monopolluant.

	Mesure discontinue	Mesure continue
Coût HT (€/an)	5 900	6 900
Incertitude liée à la mesure	30 %	15 %
Données disponibles	Moyennes annuelles	Moyennes horaires
Type de pollution évaluée	Fond	Pointe & Fond
Historique disponible	Non	Oui
Participation au dispositif d'information préfectorale	Non	Oui
Participation au dispositif d'indice de la qualité de l'air	Non	Oui

Certaines considérations sont à prendre en compte :

- L'incertitude est plus grande sur mesure discontinue (environ 30 % contre 15% pour une mesure en continu SO₂), mais aussi et surtout la perte d'information est importante. En effet, seule la pollution de fond est mesurée.
- Ces stations sont engagées dans le dispositif préfectoral d'Information de la population, exceptée celle de Port-Saint-Louis. Il faut toutefois noter qu'il n'y a eu aucun déclenchement dans ces zones depuis le 1^{er} octobre 2002.
- Ces stations possèdent un historique important (jusqu'à 18 ans pour Arles), très recherché dans de nombreuses études, notamment celles de modélisation ou de santé publique.
- Ces stations donnent une information utile sur l'évolution des niveaux de pollution rencontrés hors des zones d'émissions. Il est indispensable de garder au moins une de ces stations comme référence.

Ainsi, cette étude a permis de dégager les principales zones géographiques d'optimisation de la surveillance du dioxyde de soufre et les compléments ou alternatives envisageables par rapport à la surveillance en continu actuellement mise en place pour ce polluant. Elle doit être maintenant rapprochée d'un travail similaire pour les autres polluants, notamment pour conduire dans son intégralité la comparaison financière des différentes hypothèses d'optimisation envisagées.



Sommaire

RESUME	I
SOMMAIRE.....	1
I. INTRODUCTION	3
II. METHODOLOGIE.....	3
II.1 DEMARCHE	3
II.2 PRESENTATION DES OUTILS UTILISES POUR L'OPTIMISATION	3
II.2.1 Modèles	3
II.2.2 Validation des simulations par Numtech par rapport aux mesures des stations	4
II.2.3 Validation par Airfobep, grâce aux échantillonneurs passifs	5
II.2.4 Algorithmes d'optimisation et interface	7
II.3 HYPOTHESES D'UTILISATION.....	7
II.3.1 Altitude.....	7
II.3.2 Nombre de stations.....	8
II.3.3 Rayon	8
II.3.4 Particularités de l'année 2001 et extrapolation possible des résultats d'optimisation.....	8
III. OPTIMISATION.....	11
III.1 LES OBJECTIFS.....	11
III.2 QUALIFICATION DU RESEAU ACTUEL.....	12
III.2.1 Fond.....	12
III.2.2 Pointe	13
III.2.3 Conclusions.....	14
III.3 DEFINITION DU RESEAU « OPTIMAL » SELON LA MODELISATION	15
III.3.1 Etude de la pollution de fond	15
III.3.2 Etude de la pollution de pointe	19
III.3.3 Conclusion générale (Pollution de fond & de pointe)	23
IV. PROPOSITIONS.....	25
IV.1 REGLEMENTATION	25
IV.2 ZONES OU LA SURVEILLANCE POURRAIT ETRE COMPLETEE : ENSUES - LE ROVE	26
IV.2.1 Campagnes temporaires	26
IV.2.2 Représentativité des mesures en continu.....	27
IV.3 ZONES OU LA SURVEILLANCE POURRAIT ETRE ALLEGEE	28
IV.3.1 Le cas des zones d'Arles, Salon de Provence et de Saint-Martin-de-Crau.....	28
IV.3.2 Le cas de Miramas et Port-Saint-Louis-du-Rhône.....	29
IV.3.3 Conclusion	31
IV.4 LES ZONES AVEC UNE FORTE DENSITE DE STATIONS.....	31
IV.5 VOLET FINANCIER	32
IV.5.1 Pour une station mono-polluant.....	32
IV.5.2 Pour une station multi-polluant	33
V. CONCLUSION.....	34
ANNEXES	35
ANNEXE 1 : RESULTATS DES CAMPAGNES TUBES	36
ANNEXE 2 : VALIDATION DU MODELE SUR LES DEUX CAMPAGNES TUBES DE 2001	38
ANNEXE 3 : VALEURS DES PERCENTILES 97 POUR L'ANNEE 2001.....	42
ANNEXE 4 : ZONES D'INFORMATION-RECOMMANDATION SO₂.....	43
ANNEXE 5 : POLLUANTS MESURES.....	44
ANNEXE 6 : NOMBRE DE JOURS SUPERIEURS AU SEUIL MINIMAL D'EVALUATION	45
BIBLIOGRAPHIE.....	46





I. INTRODUCTION

La pollution par le dioxyde de soufre reste une préoccupation majeure sur le pourtour de l'étang de Berre [1]. De nombreux dépassements des principales valeurs de référence pour la protection de la santé humaine ont encore été observés en 2003 [11]. Dans ce cadre, AIRFOBEP a réalisé un projet d'optimisation de la surveillance du dioxyde de soufre dans cette région, avec le soutien financier du FEDER, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône, et après validation du Secrétariat Permanent à la Prévention de la Pollution Industrielle.

La première phase de ce travail a consisté à développer les outils et méthodes nécessaires pour cette optimisation. Pour cela, une modélisation de la dispersion atmosphérique du dioxyde de soufre (SO₂) a été réalisée et un algorithme mathématique d'optimisation du positionnement des sites de surveillance a été mis au point. Ces développements méthodologiques ont été intégrés dans une interface informatique de visualisation des résultats pour répondre à l'ensemble des problématiques posées par l'optimisation [2].

Le présent rapport s'attèle à la seconde phase de cette étude, à savoir l'utilisation de ces outils pour aider à définir le réseau de surveillance optimal et répondre aux principales questions posées par l'optimisation du réseau de mesure en continu actuellement existant.

II. METHODOLOGIE

II.1 Démarche

La démarche d'étude adoptée s'articule en trois volets. Le premier consiste à faire l'état des lieux du réseau actuel en qualifiant les stations - ou capteurs -, aussi bien en terme de pollution de fond que de pointe. La seconde partie s'attache à déterminer le positionnement optimal des capteurs à nombre de stations égal, selon différents critères. Dans une dernière phase, nous synthétiserons les conclusions des chapitres précédents sous forme de propositions d'évolution du réseau. Nous y confronterons ces résultats issus de la modélisation aux différentes études de terrain et aux contraintes techniques, réglementaires et financières.

II.2 Présentation des outils utilisés pour l'optimisation

Après une brève présentation des modèles, nous évoquerons leur validation par Numtech (comparaison avec les concentrations mesurées en continu par les stations) et par AIRFOBEP (comparaison avec les concentrations mesurées par des échantillonneurs passifs). Enfin, nous exposerons les algorithmes d'optimisation et leur complémentarité.

II.2.1 Modèles

Pour rendre compte des phénomènes atmosphériques, la qualité de l'air est appréciée sur plusieurs échelles temporelles. On définit communément la pollution de fond et la pollution de pointe. Pour rendre compte de ces différents types de pollution, deux chaînes de modélisation ont été mises en place. La première concerne l'étude en champ proche (rayon < 5 km autour de chaque site industriel) à long terme (moyenne annuelle), alors que la seconde s'appuie sur une échelle régionale (domaine d'étude 90 x 60 km²) à court terme (fréquence horaire sur une année).

Outils utilisés	ADMS 3	RAMS / HYPACT
Echelle spatiale	Rayon de 5 km autour de chaque site industriel	Domaine de 90 x 60 km ² avec une maille de 1 km ²
Périodes de simulation	Trois années de simulation (1999, 2000 et 2001)	Fréquence horaire pour l'année 2001

Tableau 1 : Caractéristiques des deux types de modélisation mis en œuvre pour l'optimisation du réseau de surveillance.



Ces deux chaînes sont complémentaires. La première (ADMS3-modèle gaussien) donne une information localisée autour des sites industriels avec une meilleure définition des niveaux de concentration. La seconde, (Rams/Hypact-modèle déterministes 3D), simule la dispersion des panaches et donne la répartition des concentrations sur l'ensemble de la région.

II.2.2 Validation des simulations par Numtech par rapport aux mesures des stations

▪ Les résultats numériques d'ADMS3 restituent de façon très satisfaisante les niveaux moyens de dioxyde de soufre autour des sites industriels considérés. La comparaison avec les valeurs mesurées montre des écarts qui n'excèdent pas 15%.

▪ Les résultats du modèle Rams/Hypact ont été confrontés aux mesures des campagnes ESCOMPTE d'une part et d'autre part à celles des stations du réseau d'AIRFOBEP, à la fois sur la météorologie et la dispersion.

Validation météorologique :

D'une manière générale, le modèle RAMS restitue de façon satisfaisante la météo globale : le modèle reproduit correctement les champs de vent, les brises de mer et d'étang et les effets du relief à l'Est. Les écarts modèle-mesures les plus marqués correspondent aux périodes de vent faible, notamment certaines nuits. En effet, une résolution plus fine serait nécessaire pour rendre compte des effets locaux prépondérants dans ces circonstances. On note parfois également un décalage en tout début de matinée et à l'heure du début du forçage thermique.

Le modèle reproduit également de manière satisfaisante les phénomènes météorologiques dans leur dimension verticale (comparaison avec les mesures aéroportées d'ESCOMPTE).

Localement, le modèle tend dans plusieurs cas à sous-estimer les vitesses de vent près du sol, particulièrement à Martigues La Gatasse. La dimension trop importante des mailles en est une des causes : le lissage topographique qu'elle induit ne permet pas au modèle de prendre en compte les effets d'accélération dus au relief. Cependant, le modèle donne une restitution globalement satisfaisante des tendances et valeurs météo observées aux stations d'AIRFOBEP.

Validation de la dispersion :

D'une manière générale, la modélisation restitue de façon satisfaisante l'évolution des panaches industriels et de la concentration en SO₂.

Les simulations des concentrations en SO₂ sont globalement relativement bien corrélées aux mesures mais toutefois avec, une nette surestimation des concentrations nocturnes, particulièrement sur les reliefs. Le modèle restitue correctement les principales tendances de l'évolution temporelle des concentrations mesurées : les pics sont bien reproduits et les périodes sans pollution sont retrouvées en général.

La comparaison en un point, heure par heure, des données mesurées et simulées indiquent des écarts importants. Dans ce cas, on est en limite d'utilisation du modèle.

En effet, :

- la mesure donne une valeur en un point alors que le modèle simule une valeur pour une maille de 1 km²,
- le modèle utilise des données d'émission au pas journalier et des données de vitesse et température d'éjection des fumées au pas annuel alors que dans la réalité ces paramètres varient sur des pas de temps plus courts,
- en outre, les erreurs de modélisation météorologique se répercutent ici et particulièrement les erreurs sur la direction du vent : une erreur de quelques degrés suffit pour décaler la dispersion d'un panache.

Conclusion :

L'étape de validation de l'étude d'optimisation du réseau conclut à la fiabilité des modélisations. Les données issues du système de modélisation RAMS/HYPACT sont cohérentes avec les données mesurées. Cette chaîne de modélisation constitue un outil approprié pour restituer les niveaux de pointe du dioxyde de soufre sur le pourtour de l'étang de Berre.

II.2.3 Validation par Airfobep, grâce aux échantillonneurs passifs

Numtech a validé le modèle grâce aux mesures du réseau, c'est à dire que ces mesures ont à la fois servi à caler le modèle et à tester ses résultats. AIRFOBEP a cherché à réaliser une validation "indépendante".

La zone surveillée par AIRFOBEP a fait l'objet de plusieurs campagnes temporaires de mesure du dioxyde de soufre en 2001 et 2002 [3]. Ces campagnes ont consisté à quadriller le territoire à l'aide de 90 tubes passifs pendant 15 jours, lors de 6 campagnes.

Certaines de ces campagnes ont été réalisées au cours de l'année 2001. Leurs résultats sont comparables avec ceux de la modélisation sur les mêmes périodes. Il s'agit de la campagne n°1 estivale - du 14 au 28 août - et de la campagne n°2 automnale, du 22 octobre au 6 novembre. Les cartes suivantes montrent l'écart entre ces mesures temporaires et les simulations (Rams/Hypact). L'échelle de couleurs utilisée dans la figure 1 pour le fond (simulations), pour les carrés (tubes) et pour les cercles (stations) est la même.

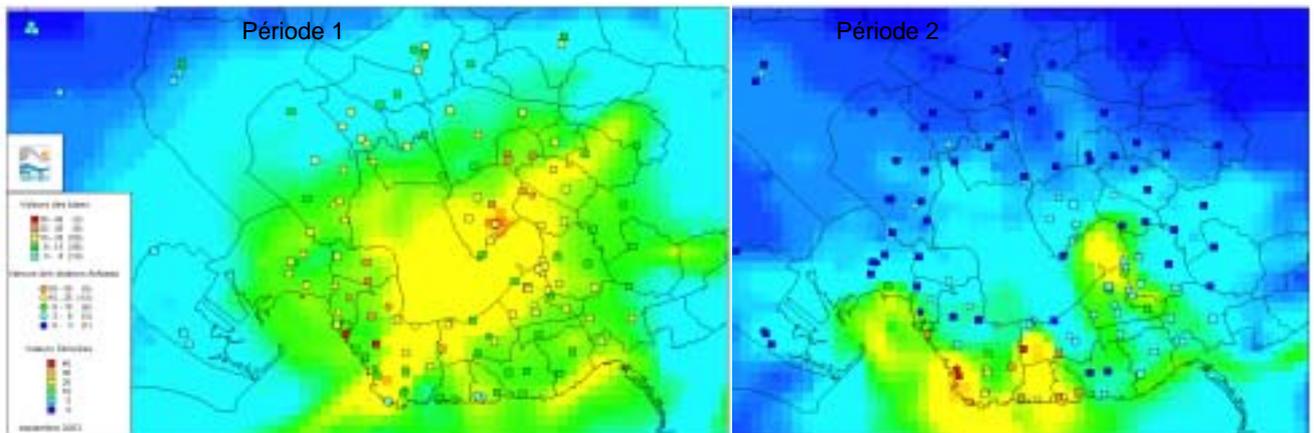


Figure 1 : Comparaison des moyennes sur les deux périodes des concentrations en SO_2 mesurées (tubes et stations) et simulées.

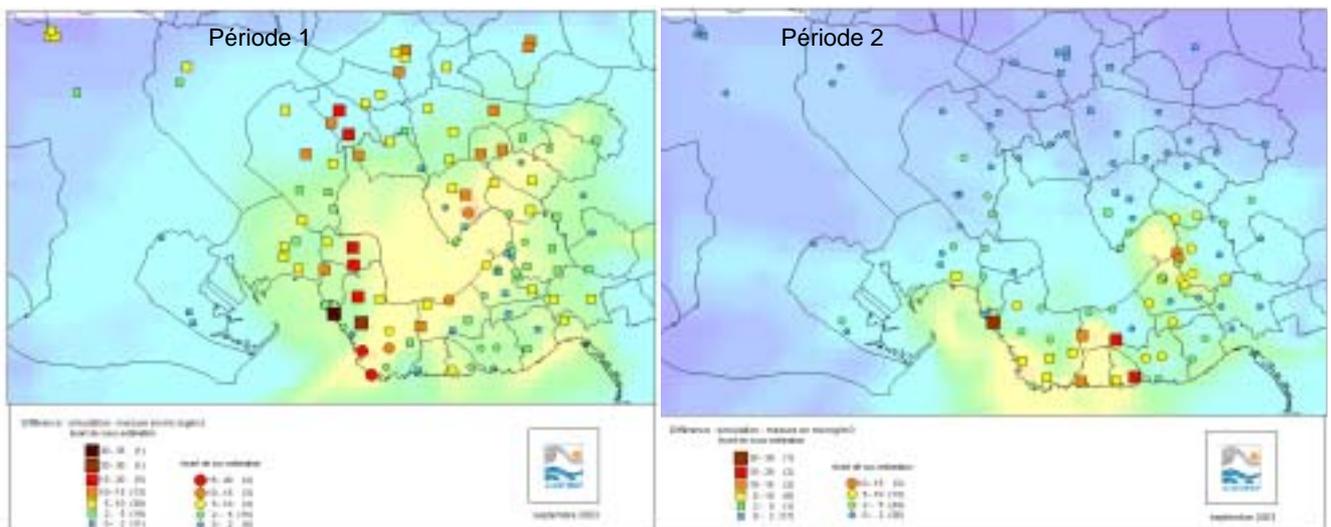


Figure 2 : Cartographie des écarts entre les données simulées et les mesures par tube.

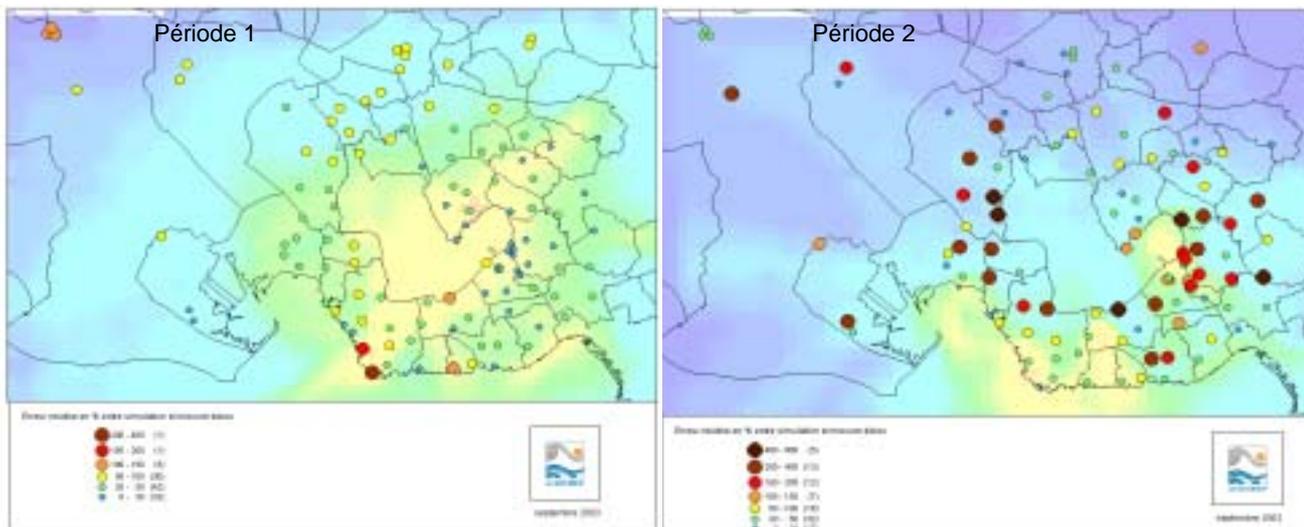


Figure 3 : Cartographie de l'erreur relative entre les données simulées et les mesures par tubes.

L'échantillonnage introduit une sous-estimation systématique des concentrations d'échantillonnage par tubes. Cette sous-estimation est évaluée par comparaison avec des mesures en continu effectuées en un même point. L'ensemble des valeurs obtenues lors de chaque campagne a été rectifié en tenant compte de ce facteur correctif. Mais il reste une incertitude qui est, selon la norme [4], de 30 % (obtenu par calcul).

Par ailleurs, l'erreur estimée en modélisation peut atteindre 30 % sur la chaîne RAMS/Hypact.

II.2.3.1 Erreur de la modélisation météorologique

L'erreur du modèle sur la direction de vent et la vitesse du vent par rapport aux données météorologiques des stations sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Erreur du modèle	Direction du vent		Vitesse du vent	
	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2
Inférieure à 5 %	20 % des cas	23 % des cas	8 % des cas	6 % des cas
Inférieure à 20 %	55 % des cas	54 % des cas	29 % des cas	23 % des cas
Inférieure à 50 %	72 % des cas	69 % des cas	62 % des cas	51 % des cas

Le rendu météorologique est correct et similaire sur les deux périodes de mesure. Le modèle retranscrit très bien les variations et tendances des vitesses et directions du vent mais approche plus ou moins bien les valeurs réelles, et ce, surtout quant à la vitesse du vent.

II.2.3.2 Erreur de la modélisation des concentrations de dioxyde de soufre

L'erreur du modèle sur la dispersion par rapport aux valeurs mesurées par campagnes temporaires sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Erreur du modèle sur la dispersion	Campagne 1	Campagne 2
nombre de points de comparaison	111	104
Inférieure à 20 %	29 % des cas	16 % des cas
Inférieure à 50 %	67 % des cas	47 % des cas

Le rendu de la dispersion est un peu moins bon, notamment sur la campagne 2.



Durant la campagne n°1, le modèle a minimisé la pollution sur le nord ouest de la ligne Berre-Martigues. Cela correspond parfaitement aux erreurs sur la modélisation du vent sur cette période (cf. ANNEXE 3, les roses des vents sur Martigues la Gatasse). Les points où la différence entre modèle et mesure est supérieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont nombreux, notamment sur la ligne « St-Mitre – La Couronne », la ligne « Berre - La Fare » et sur Miramas. Par contre, globalement l'écart relatif moyen du modèle sur la mesure est de 42%. Pour la campagne n°2, la distribution spatiale des concentrations simulées est bien corrélée aux résultats des mesures temporaires et aux mesures en continu ; excepté pour la zone au sud-est de Berre où le modèle restitue une zone de fortes concentrations qui n'a pas été mesurée. Cette zone mise à part, la différence entre les données simulées et les données mesurées par tubes n'est significative que pour les zones de fortes concentrations. Cependant l'écart relatif entre simulations et mesure est en moyenne de 115%. Cette valeur est faussée par le calcul des erreurs sur les faibles concentrations mesurées et leur incertitude plus importante. Pour tous les points mesurés au-dessus de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'écart moyen est inférieur à 36%, et est de 80% pour les mesures au-dessus de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Finalement, la pollution au SO_2 durant les 15 jours de la campagne n°1 a été soit plus localisée, soit plus diffuse, mais elle a touchée une large partie du pourtour de l'étang de Berre, alors que pour la campagne n°2, elle était essentiellement localisée sur certaines zones. Le modèle reproduit correctement ces deux situations.

Le modèle sous-estime les concentrations sur la majorité du territoire durant la campagne 1. De même, il sous-estime les concentrations sur les zones où elles sont les plus élevées durant la seconde campagne, alors qu'il les sur-estime partout ailleurs. Ces observations tendent à prouver que le modèle donne aux panaches industriels une étendue et une localisation approximative : un panache décalé par rapport à la réalité diminue la concentration simulée sur la zone polluée mais augmente celle sur la zone voisine non polluée.

Ainsi, cette comparaison avec ces deux campagnes de mesure montre et confirme que le modèle :

- permet de connaître la répartition globale des concentrations et de repérer les zones avec les concentrations les plus élevées,
- permet d'appréhender les niveaux atteints,
- mais ne restitue qu'approximativement les niveaux de concentrations atteints en chaque maille.

II.2.4 Algorithmes d'optimisation et interface

Deux types d'algorithmes ont été développés pour déterminer le positionnement optimal des stations de surveillance du SO_2 :

- Le premier s'inscrit dans une logique de champ proche. Il positionne les stations là où les concentrations sont les plus élevées. Il sera désigné par le terme d' « optimisation locale ».
- Le second rend compte des phénomènes de dispersion atmosphérique du dioxyde de soufre à l'échelle de la région. Nous lui apposerons l'adjectif « global ».

Ces deux algorithmes diffèrent également par leur temps d'exécution. Alors que le premier ne nécessite qu'une dizaine de minutes pour obtenir un résultat, le second exige un minimum de 4h pour les 15 000 itérations permettant d'obtenir la convergence vers la solution.

L'interface informatique a été développée pour exploiter l'ensemble des simulations selon ces différents algorithmes d'optimisation.

II.3 Hypothèses d'utilisation

II.3.1 Altitude

Les simulations numériques utilisées retracent les phénomènes de dispersion atmosphérique en 3 dimensions. La verticalité est représentée sur 37 niveaux, qui, plus proches dans les basses couches de l'atmosphère, s'espacent progressivement jusqu'à atteindre 1 000 m.

Pour définir quel est le niveau le plus représentatif des phénomènes observés et donc le plus approprié pour l'optimisation, deux tests ont été faits, le premier à 9 m d'altitude et le second à 27 m. Ils n'ont pas montré de différence très sensible. Pour des questions de cohérence, nous utiliserons uniquement le premier niveau à 9 m.



II.3.2 Nombre de stations

Le nombre de stations est un critère important, paramétrable dans l'interface de visualisation. Dans l'objectif de qualification du réseau actuel, nous intégrons le nombre de stations existantes, soit 28. Il faut noter que l'algorithme global nécessite d'ajouter quelques stations supplémentaires car il considère l'ensemble du périmètre, y compris Marseille, la mer Méditerranée et l'étang de Berre. Ensuite, ces zones sont retranchées avec les stations qui peuvent s'y trouver [5]. Afin de combler ce déficit, il est décidé arbitrairement d'ajouter 5 stations supplémentaires. Ainsi, dans la phase de qualification du réseau, on utilisera 28 stations avec l'algorithme local, 33 avec le global. De même, comme il s'agit d'optimiser le réseau à nombre de stations égal, nous utiliserons le même paramétrage.

II.3.3 Rayon

Le rayon d'implantation des stations peut être modifié dans l'interface. Le rayon choisi sera étroitement lié à la maille utilisée par chaque modèle et à l'objectif inhérent à cette chaîne de modélisation. Ainsi lorsque l'on utilisera ADMS3, le rayon sera de l'ordre de 500 m (maille de 250 m), par contre avec la chaîne RAMS/Hypact, le rayon utilisé sera généralement de 1,2 km (maille de 1 km). Des tests avec des rayons plus élevés ont confirmé ce choix.

II.3.4 Particularités de l'année 2001 et extrapolation possible des résultats d'optimisation

Les simulations de la pollution de pointe effectuées avec la chaîne Rams/Hypact ont été réalisées pour l'année 2001 à l'échelle horaire. C'est donc sur l'ensemble de l'année 2001 que sera réalisée l'optimisation. L'exercice assure une bonne représentativité des micro-phénomènes météorologiques que l'on peut observer dans la région, mais ne permet pas de s'affranchir de certaines spécificités de l'année 2001, qu'elles soient de nature météorologique ou liées à une conjoncture locale.

II.3.4.1 Représentativité des émissions

La Figure 4 illustre l'évolution des émissions annuelles sur le pourtour de l'étang de Berre.

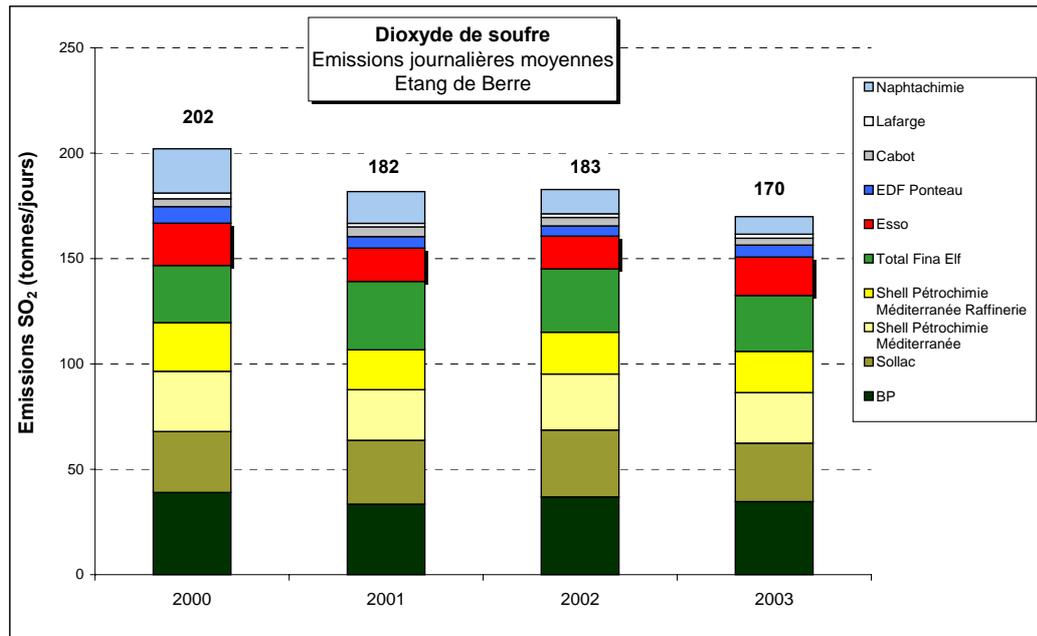


Figure 4 : Evolution de 2000 à 2003 des émissions des principales industries de la région de l'étang de Berre en moyenne journalière (tonnes/jours). source : données auto-surveillance (DRIRE).

L'année 2001 est globalement représentative des émissions annuelles de dioxyde de soufre de ces dernières années dans la région de l'étang de Berre. En effet, après une baisse significative entre 1999 et 2001, les émissions, entre 2001 et 2003, restent du même ordre de grandeur.

En marge, concernant la société BP, un arrêt quinquennal réglementaire a eu lieu dans certaines unités. Les émissions pour cette société étaient de 13 136 t en 2000 contre 12 004 t en 2001, et 13 465 t en 2002. Il y a donc eu une baisse artificielle, qui a surtout été marquée au niveau des unités de désulfuration (S3 et S4) du cracking catalytique (environ 30 %, arrêtées respectivement entre le 22 mars et le 25 mai 2001 et le 3 mars et le 11 avril 2001, *informations BP Lavéra SNC*). Cependant, une légère augmentation a été notée durant ces arrêts pour les émissions des torches (notamment la torche de la zone D qui comprend le cracking catalytique). Les émissions prises en compte pour la société BP sont donc légèrement inférieures à celles enregistrées les années précédentes et suivantes, mais surtout leur répartition entre les différents émissaires a été différente en 2001 par rapport aux autres années.



II.3.4.2 Représentativité des concentrations de dioxyde de soufre dans l'air ambiant

La Figure 5 illustre depuis 1996 l'évolution des niveaux de dioxyde de soufre pour la pollution de fond (percentile 50, P50) et de pointe (percentile 98, P98).

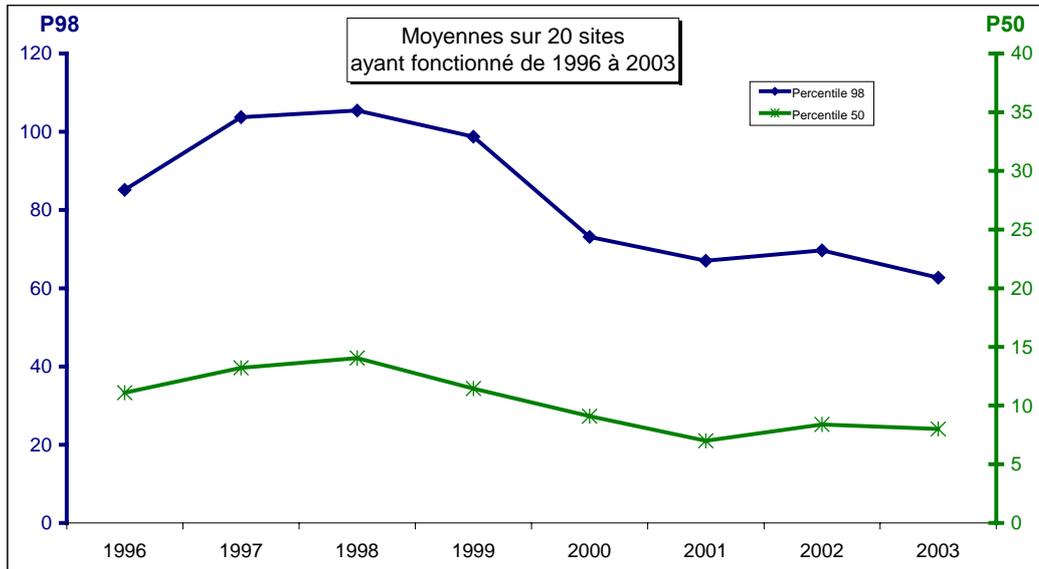


Figure 5 : Evolution de 1996 à 2003 des percentiles 50 et 98 des moyennes journalières de dioxyde de soufre pour la région de l'étang de Berre (moyennes des percentiles de 20 sites de mesure ayant fonctionné de 1996 à 2003).

Les niveaux de dioxyde de soufre dans l'air ambiant diminuent entre 1998 et 2001, puis se stabilisent ou augmentent légèrement entre 2001 et 2003. Les concentrations en dioxyde de soufre de l'année 2001 peuvent donc être considérées globalement comme représentatives des niveaux mesurés ces trois dernières années.

III. OPTIMISATION

L'optimisation du réseau se décline en deux étapes. La première consiste à qualifier le réseau actuel aussi bien en terme de pollution de fond que de pointe. La seconde vise à déterminer le réseau optimal à partir du réseau actuel, afin de limiter les redondances entre stations et d'améliorer la couverture territoriale.

- Qualification du réseau : onze tests en pollution de fond et quatorze en pollution de pointe seront réalisés selon les deux types d'algorithmes avec différentes contraintes. Chacun donnera lieu à une carte où seront identifiées les stations du réseau actuel bien positionnées selon ces critères. Le résultat sera un rang d'occurrence de chaque station sur l'ensemble des tests réalisés.
- Définition du réseau optimal : l'ensemble des cartes réalisées précédemment sera compilé par traitement cartographique. Le résultat sera une fréquence d'apparition de capteur optimal en tout point du périmètre selon l'algorithme mathématique.

	Traitements effectués	Résultats intermédiaires	Résultats finaux
Qualification du réseau	Calcul via les algorithmes d'optimisation de l'interface SO ₂	Cartes issues des algorithmes d'optimisation → fond 11 cartes → pointe 14 cartes	Position des capteurs selon les contraintes choisies → Rang d'occurrence de chaque capteur sur l'ensemble des calculs
Définition du réseau optimal	Traitement cartographique	Compilation et interpolation	Fréquence d'apparition de stations par zone

Tableau 2 : Démarche utilisée pour la qualification du réseau et la définition du réseau optimal

III.1 Les objectifs

Les missions du réseau Airfobep sont :

- * la surveillance de la qualité de l'air
- * l'information du public.

L'optimisation du réseau se fera donc à l'égard :

- 1) Des critères généraux de surveillance selon la directive européenne d'avril 1999 [6]:
 - niveaux de pollution
 - densité de population
 - proximité des sources d'émissions.

Ces critères seront déterminants dans la définition du réseau optimal que nous allons aborder dans ce chapitre.

- 2) Des contraintes locales à considérer :
 - * réglementaires : Information préfectorale, STERNES
 - * techniques
 - * économiques

Ces contraintes seront considérées dans la partie finale de ce rapport, à savoir les propositions.



III.2 Qualification du réseau actuel

III.2.1 Fond

La Figure 6 expose l'arborescence des principaux tests effectués en terme de pollution de fond.

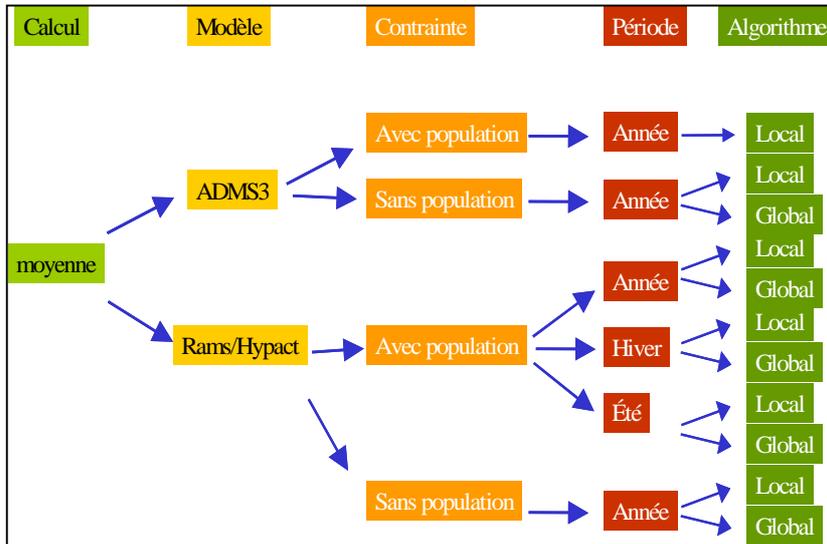


Figure 6 : Arborescence des principaux tests effectués concernant la pollution de fond.

Pour qualifier le réseau en terme de pollution de fond, le critère utilisé est la moyenne annuelle des concentrations de dioxyde de soufre. Les deux modèles donnent une information sur ce critère. Dans chaque cas, la contrainte population a été étudiée. La saisonnalité a été évaluée avec la chaîne Rams/Hypact. Pour chaque test, les deux algorithmes ont été appliqués, soit au total 11 tests.

Chaque test donne une carte sur laquelle figurent les stations du réseau actuel et les stations du réseau optimal. Lorsque la station du réseau optimal correspond à une station réelle, celle-ci est alors pertinente. Le nombre de tests où cette station est apparue pertinente donne un rang d'occurrence.

Les résultats obtenus, en terme de rang d'occurrence de chaque station dans les tests, sont les suivants :

Stations	Rang d'occurrence
Vitrolles Port-de-Bouc Castillon	1 ^{er}
Fos Carabins Martigues Gatasse Martigues Ponteau Martigues Notre-Dame des Marins La Mède Martigues Ventrons	2 ^{ème}
Rognac Barjaquets Chateauneuf	3 ^{ème}
Martigues Ile Port-de-Bouc EDF Istres	4 ^{ème}
Berre-l'Etang Port-de-Bouc IL Lègue La Fare-les-Oliviers Marignane Martigues Couronne Martigues Pati	5 ^{ème}
Port-Saint-Louis Miramas	6 ^{ème}

Tableau 3 : Rang d'occurrence des différentes stations relevées sur les cartes d'optimisation de pollution de fond.

Au total, 21 stations sur les 28 que compte le réseau actuel ont été identifiées comme caractérisant la pollution de fond. Avec un rayon d'implantation de 1,3 km apparaît également la station de Fos-sur-Mer.

III.2.2 Pointe

Les tests suivants ont été réalisés pour la pollution de pointe (cf. Figure 7).

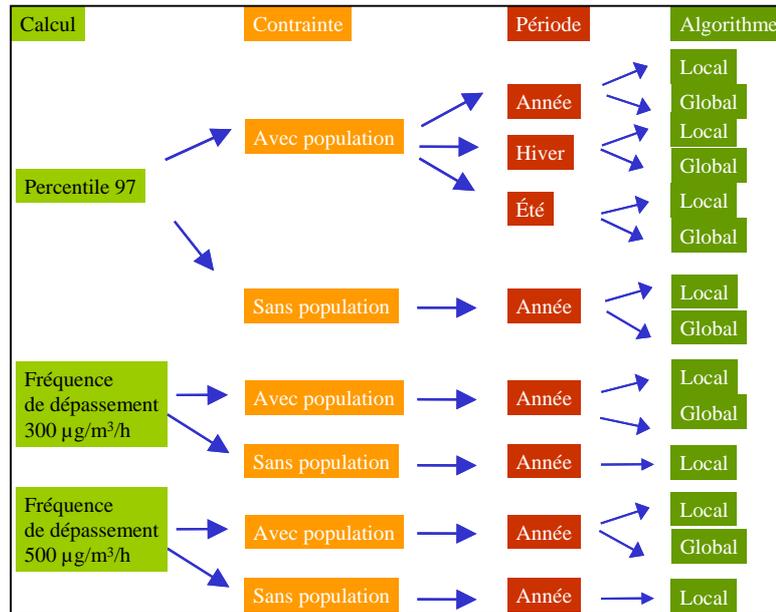


Figure 7 : Arborescence des principaux tests effectués en pollution de pointe.

Ainsi, différents critères caractérisant la pollution de pointe ont été pris en compte :

- Le percentile 97. Ce critère qualifie les niveaux de concentration atteints. Pour ce critère, plusieurs échelles de temps ont été étudiées afin d'évaluer la possible saisonnalité des stations.
- Deux critères correspondant à des seuils d'information de la population :
 - le seuil d'information recommandation de la population ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$),
 - le seuil d'alerte ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$).

Chaque type de test a été réalisé avec et sans la contrainte population et avec les deux algorithmes. Au total, 14 tests ont été réalisés pour la qualification du réseau face à la pollution de pointe.

Les résultats obtenus en terme de rang d'occurrence sont recueillis dans le Tableau 4.

Stations	Rang d'occurrence
Martigues Gatasse	1 ^{er}
Martigues Ile Martigues Pati Martigues Ponteau Fos Carabins Rognac Barjaquet	2 ^{eme}
Vitrolles Port-de-Bouc Castillon La Mède	3 ^{eme}
Istres	4 ^{eme}
Martigues Notre-Dame des Marins Marignane ville	5 ^{eme}
La Fare-les-Oliviers Châteauneuf Berre-l'Etang Port-de-Bouc EDF Martigues Ventrons	6 ^{eme}
Martigues La Couronne	7 ^{eme}
Port-de-Bouc la Lèque Miramas	8 ^{eme}

Tableau 4 : Rang d'occurrence des différentes stations relevées sur les cartes d'optimisation de pollution de pointe.

De la même façon, 19 stations relèvent de la pollution de pointe. Ce sont les mêmes stations que celles observées dans le cas de la pollution de fond, exceptée celle de Port-S^t-Louis qui caractérise uniquement la pollution de fond.

III.2.3 Conclusions

Le tableau suivant récapitule les résultats de qualification du réseau (Tableau 5), à savoir la pertinence de chaque station que ce soit en terme de pollution de pointe que de fond, et il reprend leurs caractéristiques principales :

- la date de mise en fonction des stations indique leur intérêt d'un point de vue historique,
- la densité de population apporte des éléments sur la représentativité de cette station dans une optique de protection de la population.
- la participation de chaque station soit dans le dispositif STERNES, soit dans le calcul de l'indice de la qualité de l'air, renseigne sur leur rôle réglementaire actuel.

Stations	N°	Date de mise en fonction	Caractérise de la pollution de pointe	Caractérise de la pollution de fond	Densité de population*	Utilisée pour les Sternes**	Utilisée pour l'indice de la qualité de l'air
Arles	22	1986	-	-	4030	-	X
Berre-l'Étang	1	1981	X	X	2800	X	X
Berre Magasin	30	1999	-	-	1360	x	X
Carry-le-Rouet	35	1993	-	-	3780	x	X
Châteauneuf la Mède	29	2000	X	X	620	-	X
Châteauneuf-les-Martigues	3	1989	X	X	1830	x	X
Fos-sur-Mer	11	1989	-	-	1060	X	X
Fos Carabins	13	1997	X	X	1955	-	X
Istres	12	1989	X	X	4230	-	X
La-Fare-les-Oliviers	18	1991	X	X	290	X	-
Marignane Ville	31		X	X	5566	-	X
Martigues Ile	5	1989	X	X	3940	-	X
Martigues La Couronne	33	1991	X	X	622	X	-
Martigues La Gatasse	7	1981	X	X	5	X	-
Martigues Les Laurons	6	1992	X	X	100	X	-
Martigues Les Ventrons	34	1984	X	X	105	X	-
Martigues ND Marins	4	1989	X	X	4025	x	X
Martigues Pati	36	1991	X	X	597	X	X
Miramas	17	1991	X	X	180	-	X
Port-de-Bouc La Lègue	8	1989	X	X	7955	X	X
Port-de-Bouc Castillon	14	1980	X	X	1010	X	X
Port-de-Bouc EDF	37	1998	X	X	10890	x	X
Port-S ^t -Louis	9	1988	-	X	1258	-	-
Rognac Barjaquets	20	1982	X	X	2532	x	X
Salon-de-Provence	16	1999	-	-	7955	-	X
S ^t -Martin de Crau	25	1999	-	-	3020	-	X
Sausset	21	1989	-	-	3672	X	X
Vitrolles	19	1982	X	X	10310	x	X

Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la qualification et des contraintes du réseau X : concerné ; - : non concerné * dans un rayon d'1 km autour de la station sur la base du recensement INSEE (1999)

** X : Sternes directionnels, x : sterne sur constat.

Ces résultats appellent un certain nombre de remarques :

- 20 stations sur les 28 du réseau actuel apparaissent bien positionnées.
- Et ce, à double titre, puisqu'elles qualifient aussi bien la pollution de fond que de pointe.
- 8 stations ne sont pas mises en évidence par les différents tests :

- Les stations de la Côte Bleue (Sausset-les-Pins / Carry-le-Rouet)
- Les stations éloignées des complexes industriels comme Arles, Salon-de-Provence et Saint-Martin-de-Crau
- Berre Magasin et Fos-sur-Mer bien qu'elles soient proches de sites industriels.

III.3 Définition du réseau « Optimal » selon la modélisation

Après la qualification des stations du réseau, il s'agit de définir le réseau « Optimal » selon la modélisation. Cette définition s'effectue par rapport à l'ensemble des tests réalisés précédemment (cf. III.2 Qualification du réseau actuel). Nous aborderons chaque type de pollution, en comparant les différentes cartes entre elles pour mesurer l'influence des différents paramètres, ensuite nous concluerons de façon générale.

Dans les paragraphes suivants, sauf mention contraire, les cartes présentées sont issues de la chaîne de modélisation Rams/Hypact.

La vigilance sera soutenue afin d'éviter de se focaliser uniquement sur les valeurs élevées.

III.3.1 Etude de la pollution de fond

Nous avons comparé les cartes de moyennes annuelles de dioxyde de soufre obtenues avec les deux chaînes de modélisation, les deux algorithmes et, avec ou sans contrainte (cf. Figure 6). L'objectif est de dégager les grandes tendances, en terme de redondances ou de lacunes de stations de surveillance.

La réglementation fixe l'objectif de qualité à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

III.3.1.1 Influence de la chaîne de modélisation

Les figures 8 et 9 comparent, les résultats issus des deux chaînes de modélisation, avec l'algorithme local.

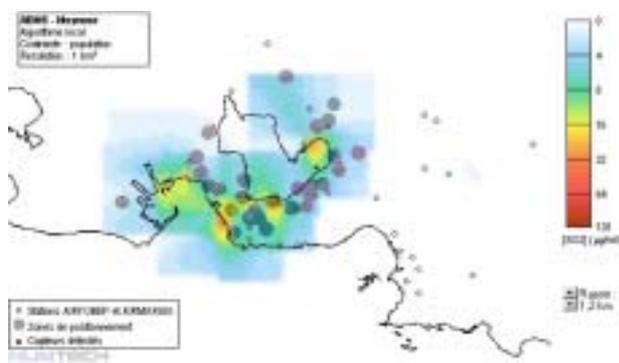


Figure 8 : Avec la chaîne ADMS, algorithme local

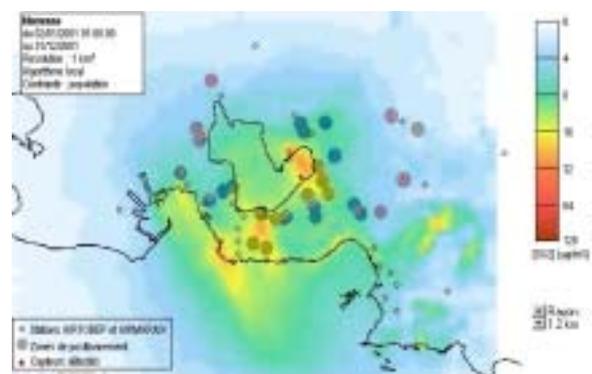


Figure 9 : Avec la chaîne Rams/Hypact, algorithme local

La chaîne ADMS modélise la pollution autour de chaque site industriel et de ce fait, conduit au positionnement des stations préférentiellement autour de chaque site, et essentiellement au sud de l'étang. Ce résultat est corroboré par la chaîne Rams/Hypact. Toutefois, le site de Lavéra n'est pas mis en évidence avec ce type de modélisation.

La chaîne ADMS identifie les zones avec les concentrations les plus importantes. Pour cela, nous avons réalisé deux tests supplémentaires avec les mêmes contraintes, mais seulement 10 et 15 stations au lieu des 28.

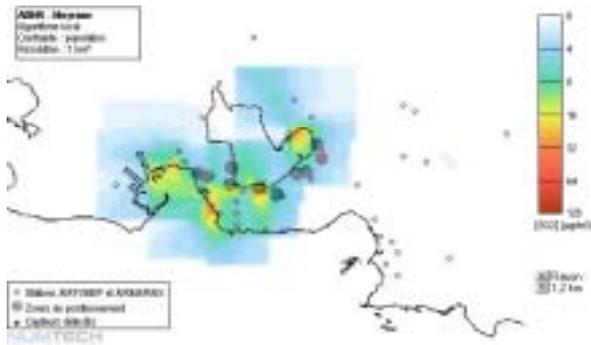


Figure 10 : Avec 10 stations, algorithme local

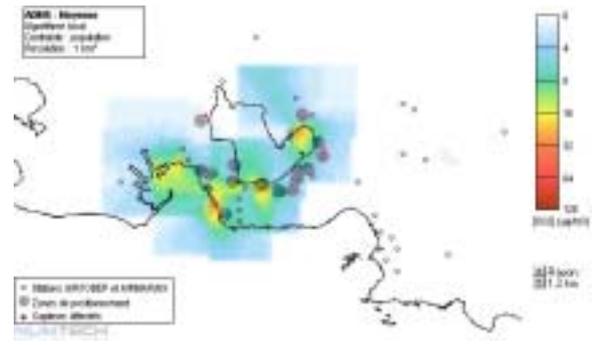


Figure 11 : Avec 15 stations, algorithme local

Ces deux cartes réalisées avec la chaîne ADMS et un nombre réduit de stations pointent l'ensemble du littoral sud de l'étang. Avec 10 stations, ce sont surtout les zones de Port-de-Bouc, Châteauneuf, Marignane et Vitrolles qui sont identifiées. Berre, Istres et les quartiers sud de Martigues apparaissent seulement sur les tests avec un plus grand nombre de stations. Ces tests hiérarchisent les zones prioritaires de surveillance.

III.3.1.2 Influence de l'algorithme

Les figures 12 et 13 représentent les cartes d'optimisation obtenues en moyenne annuelle avec population, en utilisant l'un et l'autre algorithme.

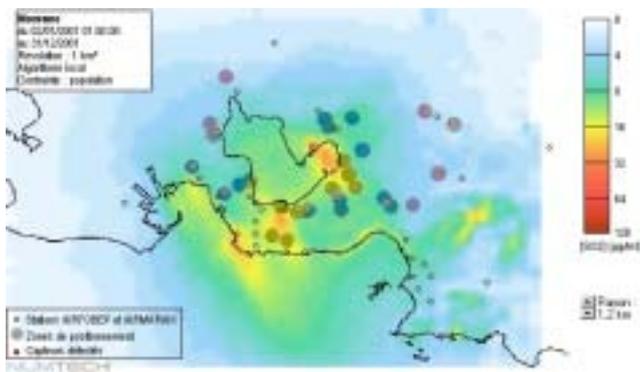


Figure 12 : Avec l'algorithme local

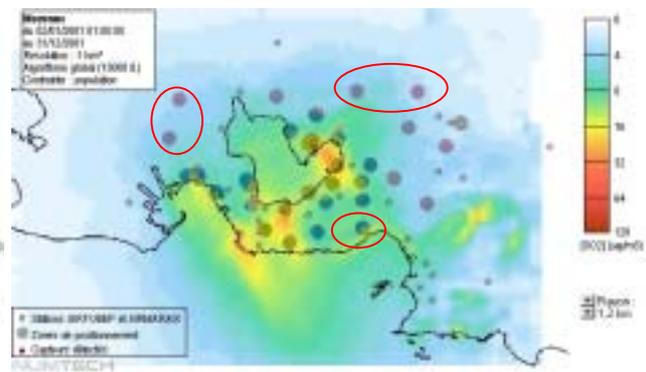


Figure 13 : Avec l'algorithme global

Ces deux cartes permettent d'apprécier la complémentarité des deux algorithmes :

- ⇒ L'algorithme local insiste plus sur des zones comme Marignane, Vitrolles ou Châteauneuf.
- ⇒ L'algorithme global, de par sa philosophie qui est de minimiser l'erreur sur l'ensemble du périmètre, a pour objectif d'assurer une meilleure couverture territoriale. Dès lors, des stations sont positionnées sur des zones comme Ensues/Le Rove, la plaine de la Crau et la chaîne de La Fare-les-Oliviers.

III.3.1.3 Influence de la contrainte population

Les figures 14 et 15 comparent l'effet de la contrainte avec population et sans population, pour la moyenne annuelle en utilisant l'algorithme global.

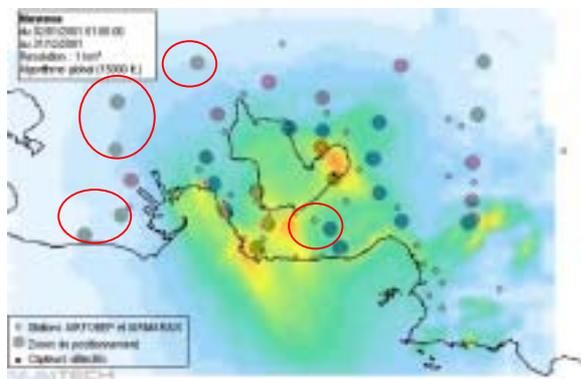


Figure 14 : Sans population, algorithme global

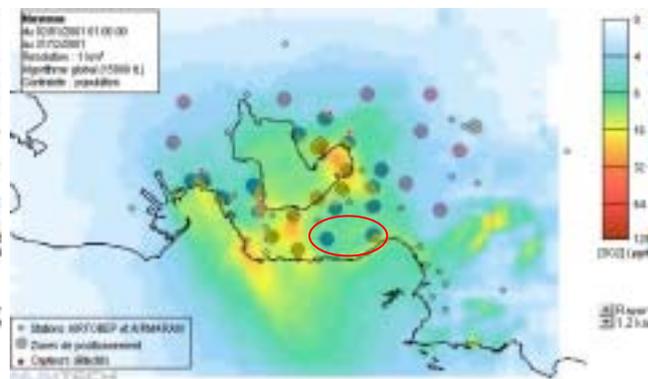


Figure 15 : Avec population, algorithme global

Ces cartes appellent plusieurs commentaires :

- * Dans les deux cas, des capteurs sont positionnés dans la zone Ensuès/Le Rove.
- * En rajoutant la contrainte densité population :
 - Un recentrage des capteurs s'opère autour de l'étang, notamment dans le quart sud-est de l'étang.
 - La plaine de la Crau et la Camargue sont, quant-à-elles, moins couvertes par des stations.

III.3.1.4 Influence de la saisonnalité

Il est également intéressant d'observer l'influence des saisons sur les résultats d'optimisation (Figure 16 et Figure 17 moyenne annuelle, algorithme global). Cependant l'outil ne donne pas un positionnement des stations sur des mois non-consécutifs, c'est donc la période du 1^{er} octobre au 31 décembre qui est présentée ici, sachant que la fin de l'hiver 2000-2001 (période du 1^{er} janvier au 15 avril 2001) donne des résultats légèrement différents.

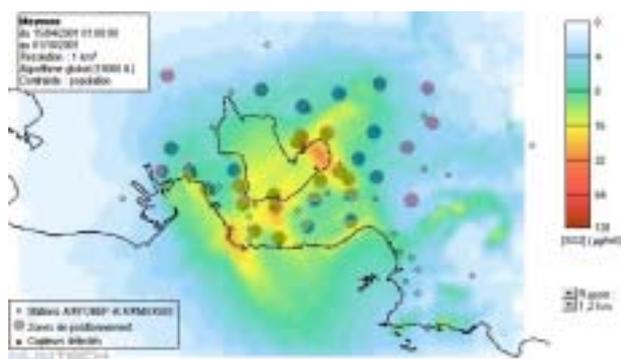


Figure 16 : Pendant la période estivale (15 avril-30 septembre)

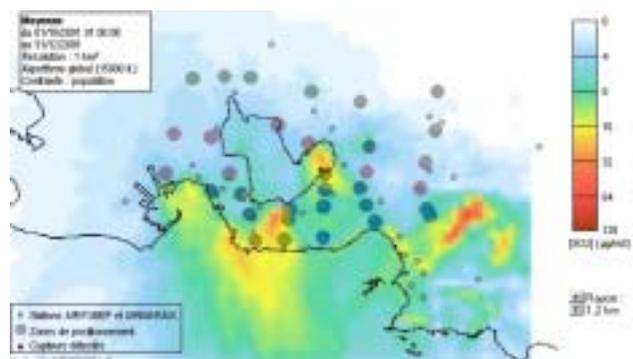


Figure 17 : Pendant une partie de l'hiver (1^{er} oct-31 déc)

Le positionnement des stations est différent selon la saison étudiée, du fait, entre autres, des conditions météorologiques. Durant la période estivale, 7 stations sont identifiées comme bien positionnées, contre 5 durant la période du 1^{er} octobre au 31 décembre 2001. Pour la période du 1^{er} janvier au 14 avril, 5 stations correspondent au réseau optimal : Martigues La Gatasse et La Couronne, Berre et Miramas (carte non représentée).

III.3.1.5 Conclusion sur la pollution de fond

Onze cartes ont été jugées les plus pertinentes parmi l'ensemble des tests réalisés (cf. Figure 6). Ces cartes montrent un positionnement variable des stations, mais des zones à surveiller récurrentes.

Il convient d'avoir une vision plus globale en déterminant une carte de fréquence d'apparition des stations du réseau optimal. Pour cela, on interpole l'ensemble de ces 11 cartes. La méthode utilisée est la pondération de la donnée en fonction de la distance par rapport à chaque point, en appliquant à l'ensemble de la maille la valeur du centre.

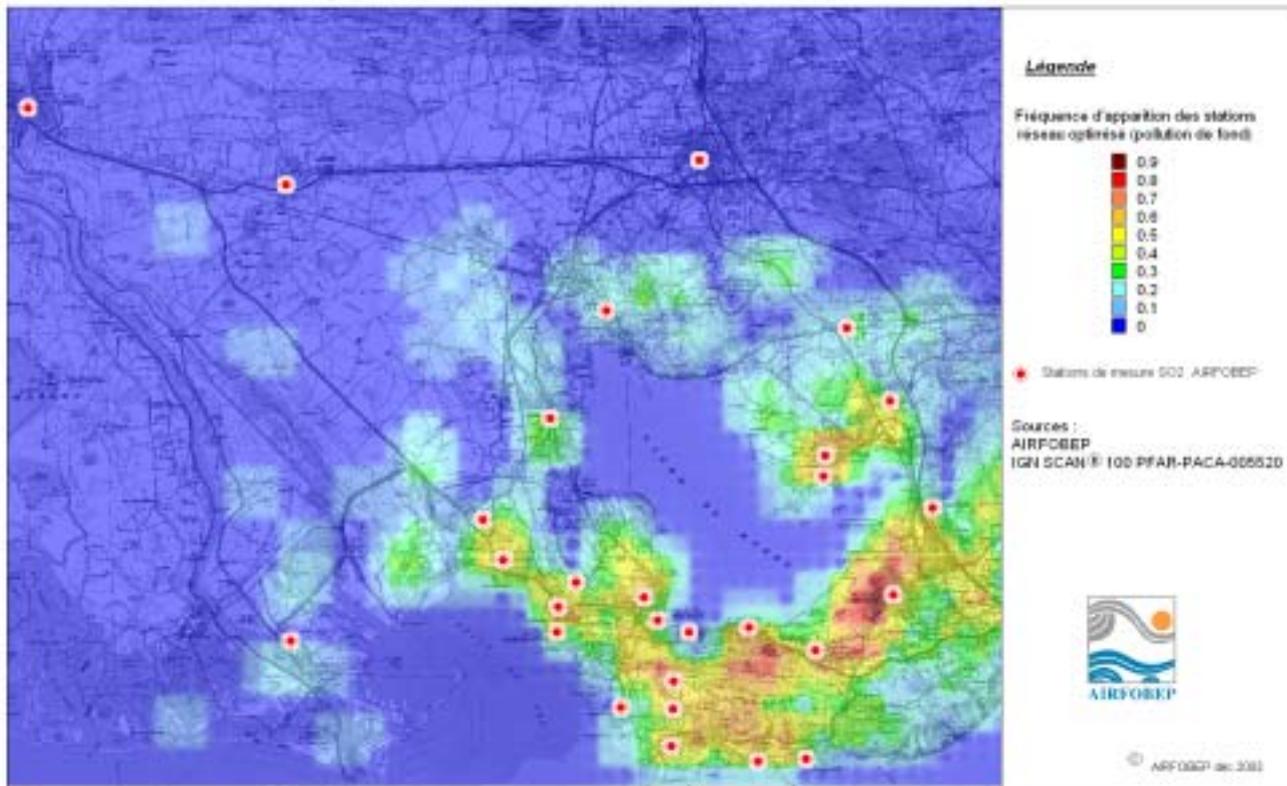


Figure 18 : Carte de fréquence d'apparition des stations sur onze tests réalisés en pollution de fond. Les stations de mesure actuelles sont matérialisées par .

L'ensemble des tests réalisés (pollution de fond) indique une fréquence d'apparition des stations plus importante pour la moitié sud de l'étang de Berre, jusqu'à la Côte Bleue.

La fréquence d'apparition de stations est nulle dans le grand quart nord-ouest du périmètre, indiquant ainsi que, selon l'algorithme mathématique, des stations dans ces zones ne sont pas les plus pertinentes.

Dans ces zones sont actuellement implantées les trois stations suivantes :

- Arles,
- Saint-Martin-de-Crau,
- Salon-de-Provence.

Ce qui signifie que selon la modélisation, ces stations ne sont pas pertinentes pour représenter la pollution de fond de la région.

Les stations de Port-Saint-Louis, et de Miramas, ont une fréquence d'apparition inférieure à 10 % : 1 test sur les onze les a fait apparaître. Il s'agit du test réalisé avec ADMS, en tenant compte de la population, sur l'ensemble de l'année. Par contre, la chaîne RAMS pour la pollution de fond avec l'algorithme global et la contrainte de population ne relève pas ces stations. Ainsi dans une représentation globale de la pollution, ces stations ne semblent pas les plus pertinentes.

Il faut cependant éviter de se focaliser uniquement sur les valeurs élevées. Cela aurait pour conséquence de positionner les stations aux environs plus ou moins proches des sites industriels. Il s'en suivrait dès lors une maximisation des niveaux relevés dans la région de l'étang de Berre. Le grand ouest des Bouches-du-Rhône serait alors assimilé aux pourtours proches de l'étang.

III.3.2 Etude de la pollution de pointe

La pollution de pointe, a été étudiée en utilisant :

- ⇒ les percentiles
- ⇒ les fréquences de dépassement des seuils suivants :
 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$, le seuil d'information - recommandation de la population.
 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ qui est le seuil d'alerte, s'il est dépassé durant trois heures consécutives.

III.3.2.1 Percentile

Il est possible dans l'interface de choisir le percentile que l'on souhaite étudier. La valeur limite de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an correspond au percentile 99,7. Il aurait été cohérent d'utiliser ce percentile. Cependant les résultats de modélisation ont tendance à surestimer les concentrations, surtout pendant la nuit (du fait de la difficulté à évaluer la hauteur de la couche limite) et donc à augmenter artificiellement la valeur de ce P99,7. C'est pourquoi ce choix a été écarté, pour se reporter arbitrairement sur celui du P97. Le percentile 97 donne la concentration horaire au-dessus de laquelle se situent les 3% des valeurs horaires les plus élevées rencontrées sur l'ensemble de l'année. Autrement dit, il s'agit de la concentration horaire qui est dépassée 263 heures dans l'année.

Ce paramètre donne une information bien différente des fréquences de dépassement de seuil. En effet, il évalue la gamme de concentrations auxquelles est soumise la station. C'est sur son propre historique sur l'ensemble de l'année qu'est calculé ce P97.

Les cartes suivantes donnent les percentiles 97 calculés en tout point du domaine, avec et sans population, en utilisant les deux types d'algorithmes, global et local.

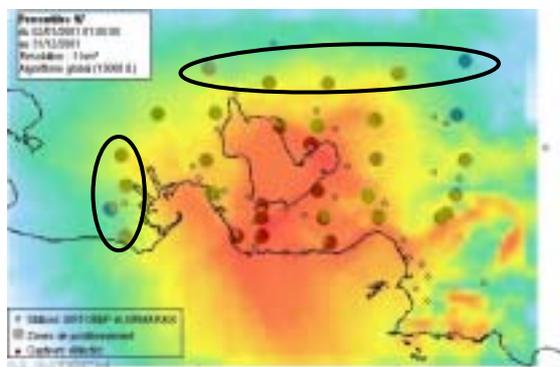


Figure 19 : Algorithme global sans population

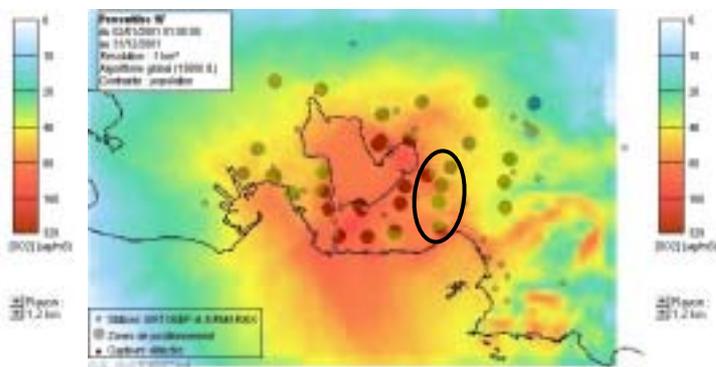


Figure 20 : Algorithme global avec population

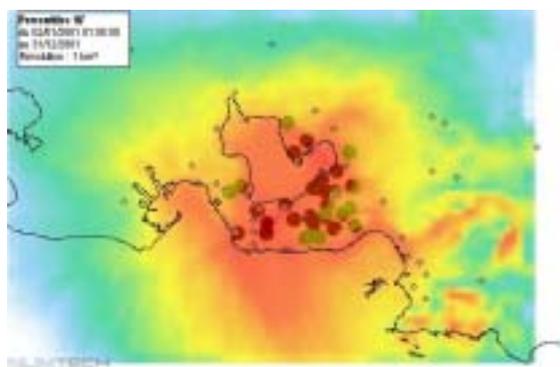


Figure 21 : Algorithme local sans population

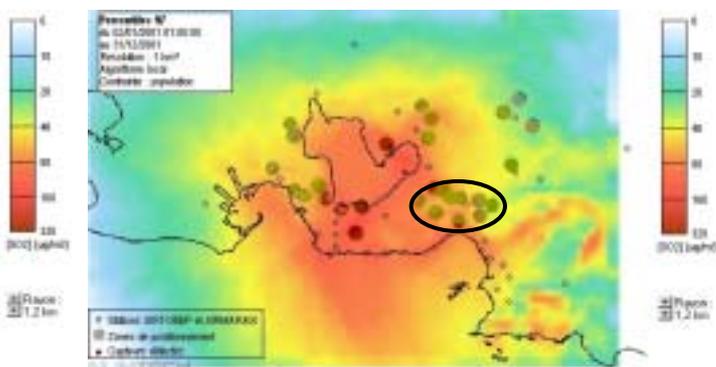


Figure 22 : Algorithme local avec population

L'échelle de couleur de ces cartes est dilatée dans les orange-rouge. En effet, cette gradation entre le jaune-orangé et le rouge couvre une large gamme de concentrations comprises entre 40 et 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$. Or, les percentiles sont des valeurs horaires qui peuvent atteindre des niveaux élevés. A titre d'information, les P97 mesurés en 2001 sont indiqués dans l'ANNEXE 3. Les valeurs obtenues se situent entre 15 pour Arles et 208 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pour Martigues les Laurons, avec 90 % de stations qui ont un P97 supérieur à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$, ce qui explique les couleurs observées.

De la même façon que pour les niveaux de fond, un recentrage des stations est observé autour de l'étang, une couverture importante sur les reliefs de la Côte Bleue et sur le plateau de l'Arbois.

III.3.2.2 Fréquence de dépassement du seuil de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$

Le seuil de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ correspond au seuil d'information de la population. Les cartes suivantes présentent les résultats d'optimisation obtenus avec l'algorithme local et global que ce soit avec ou sans contrainte population.

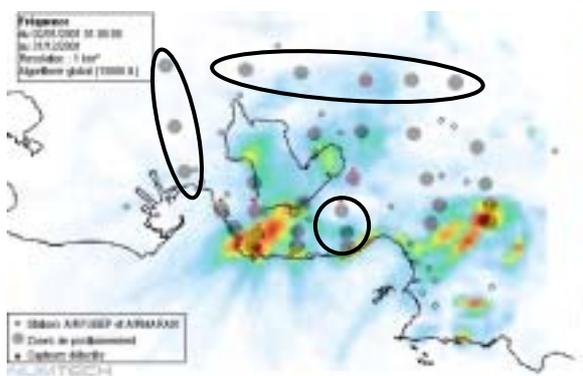


Figure 23 : Algorithme global sans population

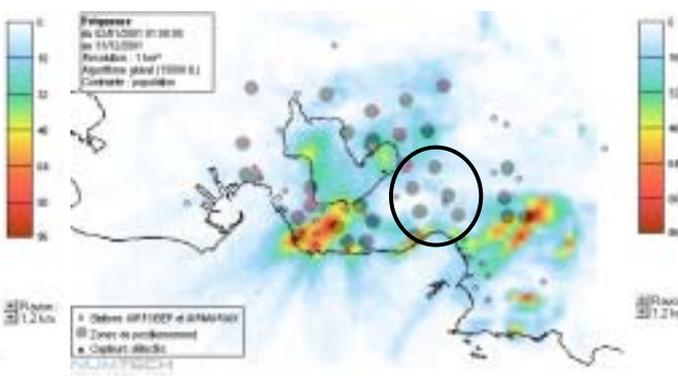


Figure 24 : Algorithme global avec population

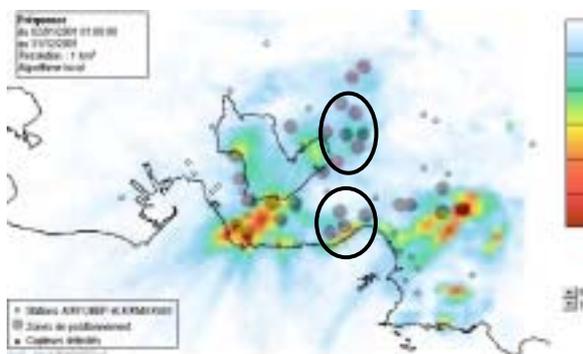


Figure 25 : Algorithme local sans population

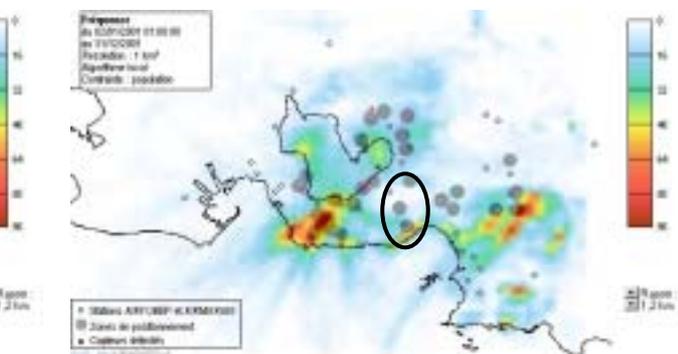


Figure 26 : Algorithme local avec population

- La contrainte population opère également un recentrage autour de l'étang, et particulièrement au sud. Elle se fait particulièrement ressentir avec l'algorithme global.
- La zone d'Ensuès/Le Rove est mise en évidence sur chaque carte.
- L'algorithme local positionne les stations principalement autour de chaque site industriel avec une fréquence variable en fonction des sites excepté celui d'Esso à Fos. Il organise les stations selon un axe Sud-Ouest/ Nord-Est, typique des brises.

En outre les quartiers sud de Martigues apparaissent systématiquement sur chaque carte et confirment l'intérêt de la présence de stations dans cette zone.

III.3.2.3 Fréquence de dépassement du seuil de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$

Les cartes d'optimisation présentées ci-dessous pour ce seuil ont été réalisées avec les deux types d'algorithmes, avec et sans population.

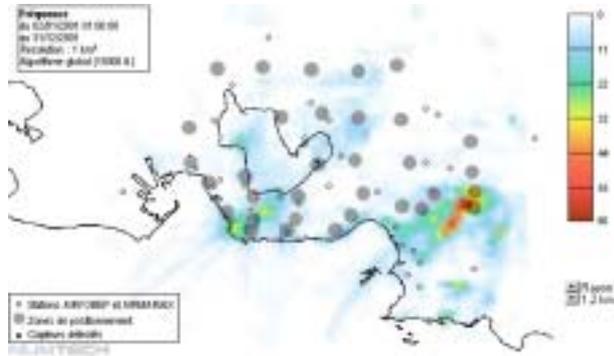


Figure 27 : Algorithme global sans population

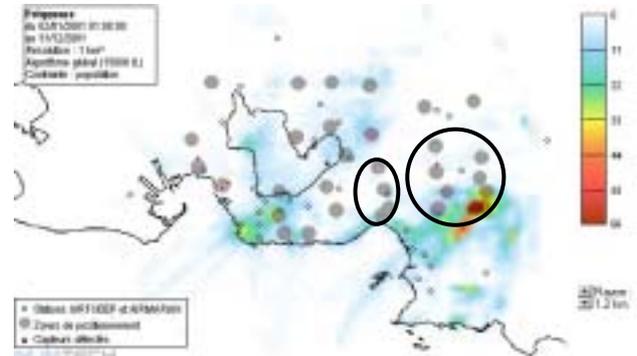


Figure 28 : Algorithme global avec population

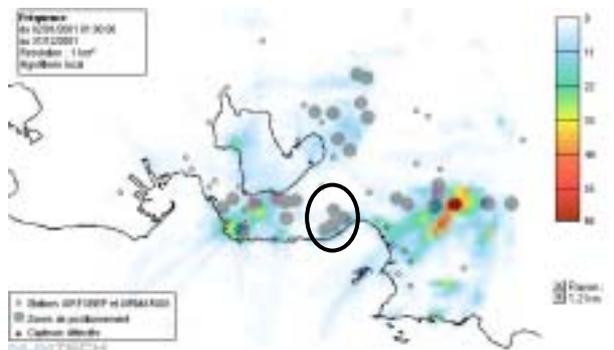


Figure 29 : Algorithme local sans population

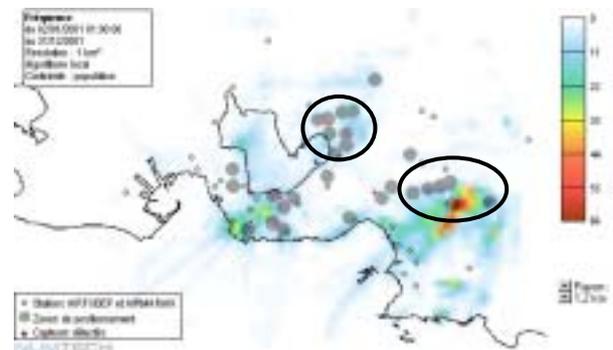


Figure 30 : Algorithme local avec population

L'algorithme global répartit de manière quasi-géométrique les stations, dans le nord et l'ouest du domaine. Avec l'une ou l'autre des méthodes d'optimisation, la zone de Gardanne est particulièrement mise en exergue. La contrainte population a une influence avec l'algorithme local, dans des zones telles que Veloux, Coudoux etc.

III.3.2.4 Conclusion (pollution de pointe)

Nous avons compilé l'ensemble des tests les plus pertinents (quatorze tests, cf. Figure 7) sur la carte suivante, selon la méthode décrite au chapitre III.3.1.5.

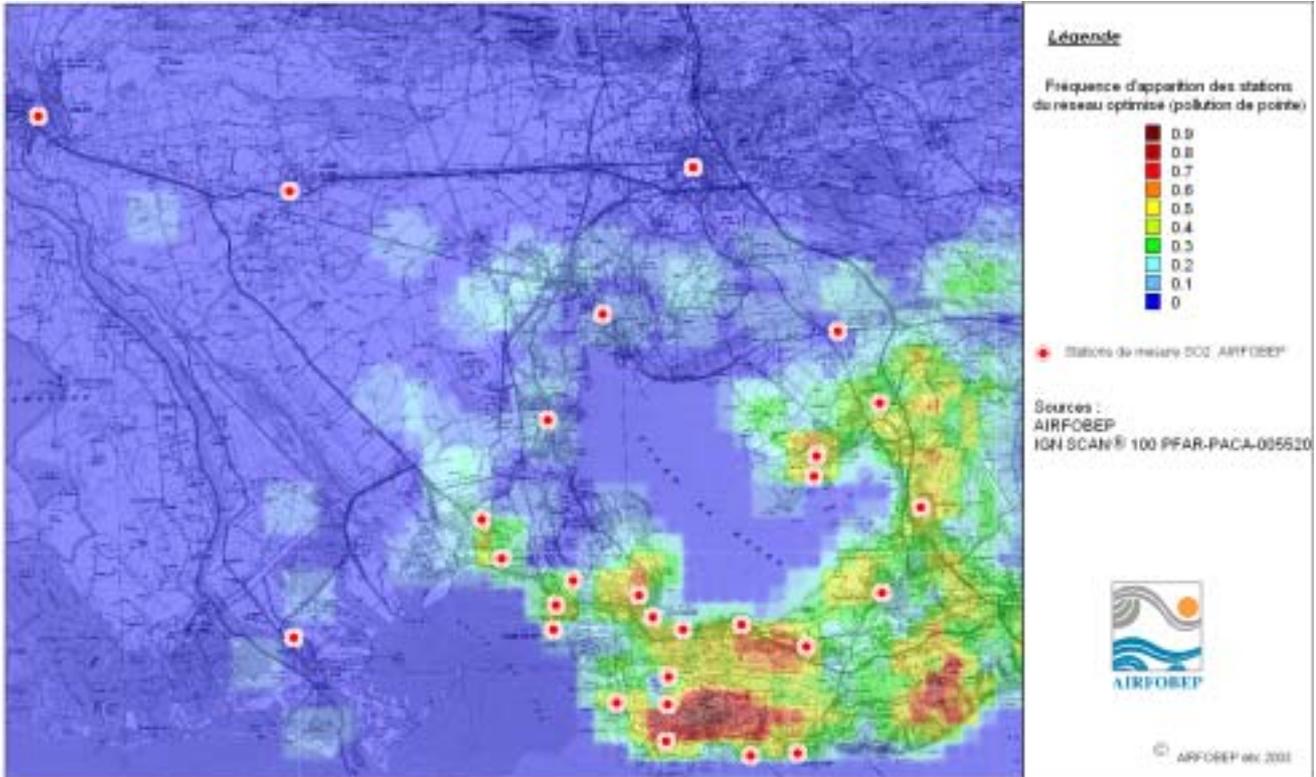


Figure 31 : Carte de fréquence d'apparition des stations sur quatorze tests réalisés en pollution de pointe. Les stations de mesure actuelles sont matérialisées par .

Cinq stations sont situées dans des zones de fréquence d'apparition nulle selon la modélisation.

Il s'agit de :

- Arles
- Saint-Martin-de-Crau
- Salon-de-Provence
- Port-Saint-Louis
- Miramas.

La zone du Rove est caractérisée par une fréquence élevée d'apparition de station associée à une absence de station dans le réseau existant. Ainsi, dans 70 à 90% des tests réalisés en modélisation de la pollution de pointe, une station apparaît dans cette région. Cependant, cette zone n'était pas relevée par la modélisation de la pollution de fond.

Certaines zones sont caractérisées par une fréquence élevée d'apparition de station associée à l'existence de plusieurs stations dans le réseau existant. C'est le cas, des zones de Berre-l'Etang, de Port-de-Bouc et des quartiers Sud de Martigues. Ces derniers ont la fréquence d'apparition de station la plus élevée de la région de l'étang de Berre.

III.3.3 Conclusion générale (Pollution de fond & de pointe)

La carte suivante représente la fréquence d'apparition des stations en intégrant les deux types de pollution, à poids égal.

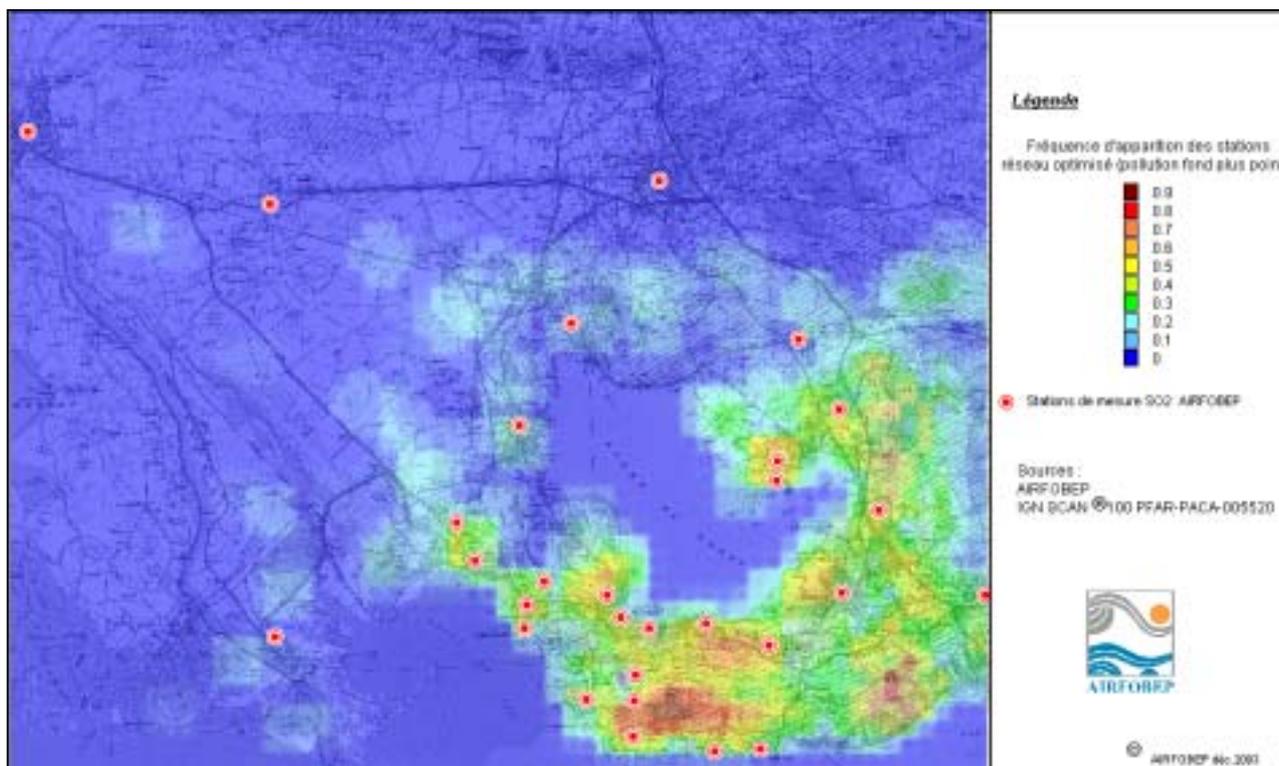


Figure 32 : Carte cumulée de fréquence d'apparition des stations en pollution de fond et de pointe. Les stations de mesure actuelles sont matérialisées par .

Comme nous l'avons observé précédemment, 3 stations sont situées dans des zones de fréquence d'apparition nulle en terme de pollution de fond et de pointe, indiquant que ces stations, selon l'algorithme mathématique, ne sont pas des plus pertinentes pour décrire la pollution de la région.

Il s'agit des stations situées à :

- Arles
- Saint-Martin-de-Crau
- Salon-de-Provence

Les stations de mesure de Port-Saint-Louis et Miramas seraient éventuellement à inclure dans ce lot, étant donné la plus faible fréquence d'apparition de station dans ces zones.

La zone du Rove est indiquée toujours avec une fréquence significative d'apparition de station.

Un zoom de la carte précédente a été réalisé pour le pourtour de l'étang de Berre (cf. Figure 33).

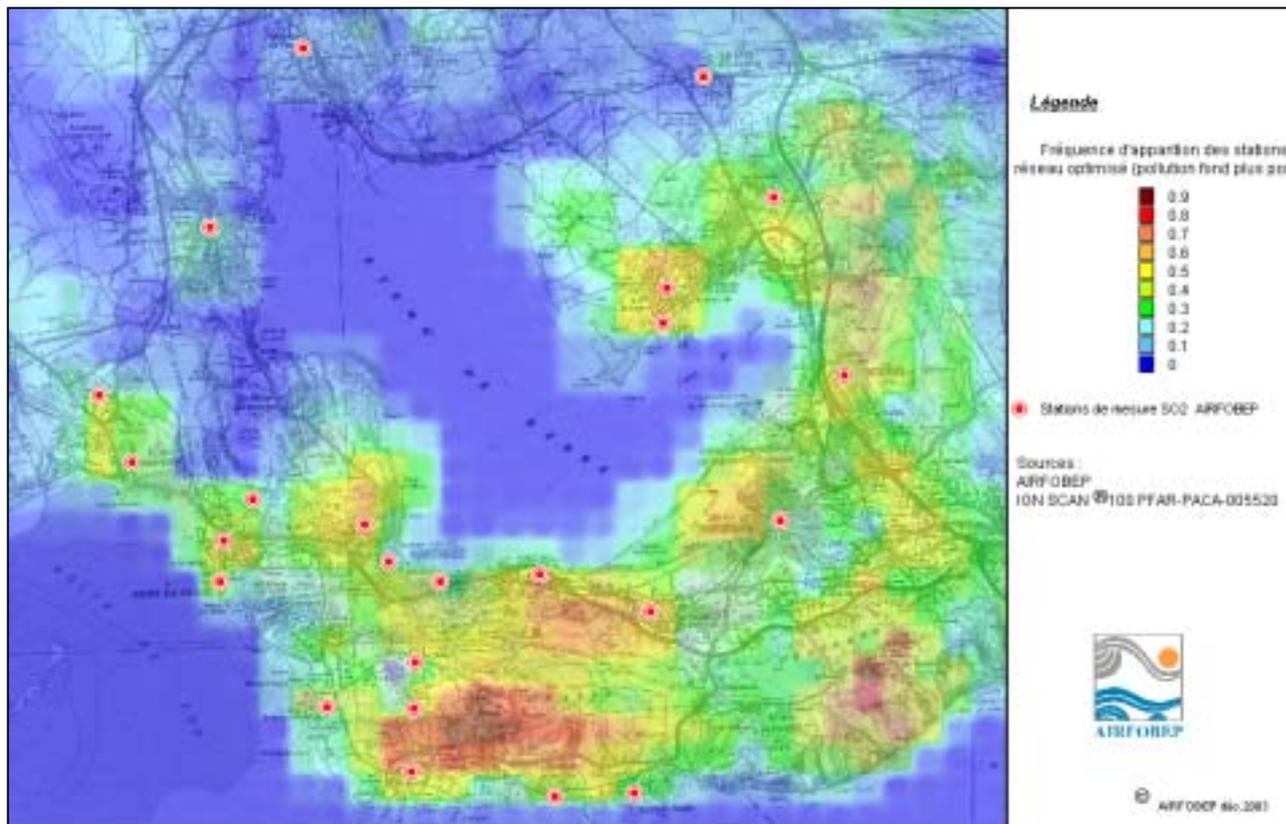


Figure 33 : Carte cumulée de fréquence d'apparition des stations en pollution de fond et de pointe. Les stations de mesure actuelles sont matérialisées par .

A l'issue de l'ensemble de ces résultats de modélisation, plusieurs éléments se dégagent :

- **Zones où les modalités de surveillance pourraient être allégées :**
 - Zones où sont situées les stations d'Arles, de Saint-Martin-de-Crau, et de Salon-de-Provence qui n'ont été relevées ni en pollution de fond, ni de pointe.
 - Zones où sont situées les stations de Miramas et de Port-Saint-Louis qui n'ont été identifiées que très rarement et seulement pour la pollution de fond.
- **Zones où la surveillance pourrait être complétée :**
La zone d'Ensuès / Le Rove apparaît comme nécessitant un complément de surveillance.
- **Zones correctement surveillées avec une densité de stations importante :**
 - Berre-l'Etang
 - Port-de-Bouc
 - Les quartiers Sud de Martigues.

IV. PROPOSITIONS

L'objectif est de définir la meilleure adéquation entre les moyens dont dispose AIRFOBEP et le réseau optimal permettant de rendre compte au mieux de la pollution observée, afin d'informer la population. Les propositions d'optimisation du réseau de surveillance du dioxyde de soufre reposent sur la comparaison des résultats du positionnement modélisé des stations avec les résultats des mesures de la qualité de l'air. Elles tiennent compte également des exigences réglementaires et d'une analyse économique des différentes méthodes de surveillance envisageables.

IV.1 Réglementation

Les directives 96/62/CE du 27/09/96 et 1999/30/CE du 22 avril 1999 précisent le cadre général d'application des méthodes d'évaluation de la qualité de l'air.

Les mesures sont obligatoires dans :

- les agglomérations de plus de 250 000 habitants,
- les zones où les niveaux dépassent les valeurs limites,
- les zones où les niveaux sont compris entre les valeurs limites et le seuil d'évaluation précisé ci-après.

Ces mesures peuvent être complétées par des techniques de modélisation.

Deux seuils d'évaluation sont définis :

- * **seuil d'évaluation maximal** : niveau en dessous duquel une combinaison de mesures et de techniques de modélisation peut être employée pour évaluer la qualité de l'air ambiant,
- * **seuil d'évaluation minimal** : niveau en dessous duquel les techniques de modélisation ou d'estimation objective peuvent être employées seules, pour évaluer la qualité de l'air.

Ainsi, trois cas peuvent être distingués :

- **si les niveaux sont supérieurs au seuil d'évaluation maximal**, l'évaluation est obligatoirement réalisée par des mesures et les techniques de modélisation peuvent être utilisées en complément,
- **si les niveaux sont inférieurs au seuil d'évaluation maximal**, l'évaluation peut être réalisée par combinaison de mesures et de techniques de modélisation,
- **si les niveaux sont inférieurs au seuil d'évaluation minimal**, l'évaluation peut se borner à l'emploi de techniques de modélisation ou d'estimation objective (non applicable pour les agglomérations de plus de 250 000 habitants pour les polluants pour lesquels il existe des seuils d'alerte).

Seuils d'évaluation minimaux et maximaux pour la protection de la santé humaine				
Polluants	Seuils d'évaluation	De la valeur limite horaire	De la valeur limite journalière	De la valeur limite annuelle
SO ₂	Maxi	-	75 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 fois par an	-
	Mini	-	50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 fois par an	-

Tableau 6 : Seuils d'évaluation minimaux et maximaux pour la protection de la santé humaine selon la directive 1999/30/CE, Annexe V.

Le tableau suivant résume ces modalités.

Niveaux de SO ₂		Méthodes d'évaluation	Incertitude sur la méthode
125 µg/m ³ /j	↑ Valeur limite		
75 µg/m ³ /j	Seuil d'évaluation maximal	Mesure en continu	15%
50 µg/m ³ /j	Seuil d'évaluation minimal	Mesure indicative et modélisation	25%
		Estimation objective ou modélisation	75% ↓

Tableau 7 : Exigences réglementaires de modalités de surveillance.

En fonction de ces modalités de surveillance a minima, fixées par la réglementation, nous allons maintenant examiner chaque cas par rapport à ces exigences.

IV.2 Zones où la surveillance pourrait être complétée : Ensues - le Rove

IV.2.1 Campagnes temporaires

Les résultats du modèle indiquent que la zone d'Ensues-la-Redonne/Le Rove est soumise à des pointes de pollution par le dioxyde de soufre. Plusieurs campagnes temporaires (d'un mois environ) ont été réalisées dans cette zone (Tableau 8).

Lieu	Date Campagne	Moyens	Conditions météo	[SO ₂] maximales relevées (µg/m ³ /h)	[SO ₂] Nb de dépassements du seuil de 300 µg/m ³ /h	Population Nombre d'habitants*	réf
Ensues (Ecole F. Mistral)	Février 1997	Laboratoire Mobile	Période de stabilité anticyclonique	279	-	4544	[7]
Le Rove	Octobre 2002	Laboratoire Mobile	Aucune période de stabilité anticyclonique	182	-	4059	[8]

Tableau 8 : Récapitulatif des conditions de réalisation des campagnes temporaires réalisées à Ensues et au Rove.

* Population au dernier recensement, qui correspond à celle couverte par le rayon de la station mobile.

A Ensues-la-Redonne, les valeurs les plus élevées (279 µg/m³/h) sont mesurées au cours de situations anticycloniques. Ces concentrations sont toutefois inférieures à celles relevées dans les environs durant la même période (Châteauneuf : 336 µg/m³/h et Carry-le-Rouet : 638 µg/m³/h). La situation de ce village perché sur les hauteurs, en périphérie de l'étang et relativement éloigné des principaux sites émetteurs de dioxyde de soufre peut expliquer qu'aucun dépassement des valeurs réglementaires ne soit constaté (seuil d'information – recommandation de la population fixé à 300 µg/m³/h). Ce village est épargné sur la plupart des situations généralisées.

Au Rove, les concentrations relevées sont plus faibles que celles observées à Ensues. Deux explications peuvent être mises en lumière :

- d'une part des conditions météorologiques pendant la campagne peu propices à l'accumulation de polluants ou à la retombée de panaches
- d'autre part, un éloignement plus important par rapport aux sources.

IV.2.2 Représentativité des mesures en continu

L'objectif est de vérifier la représentativité des mesures des deux stations présentes dans la zone par rapport à l'ensemble de la zone.

Pour cela, ces mesures sont comparées à celles obtenues lors des campagnes temporaires, réalisées entre 2001 et 2002, à l'aide d'échantillonneurs passifs [3]. La Figure 34 présente les résultats de ces mesures et les compare à celles obtenues par les deux stations de mesure existantes [9]. Cette carte est à interpréter avec prudence car elle présente des valeurs de mesures non simultanées. Elles sont construites de la façon suivante :

- En jaune sont représentés les points de prélèvements des campagnes « tubes », au total 6 campagnes de quinze jours chacune, donnant une moyenne bihebdomadaire. Les valeurs correspondent à la moyenne bihebdomadaire maximale relevée en chaque lieu sur l'ensemble des 6 campagnes. Ces valeurs peuvent être obtenues à des dates différentes. On obtient ainsi une carte où sont représentées les valeurs maximales obtenues sur l'une ou l'autre de ces campagnes, en chaque point.
- En rouge sont indiquées les données des stations : nous avons pris la valeur maximale des moyennes bihebdomadaires maximales observés par les échantillonneurs passifs et indiqué pour la quinzaine correspondante, la valeur relevée par les stations (moyenne de la station sur les 15 jours correspondants).

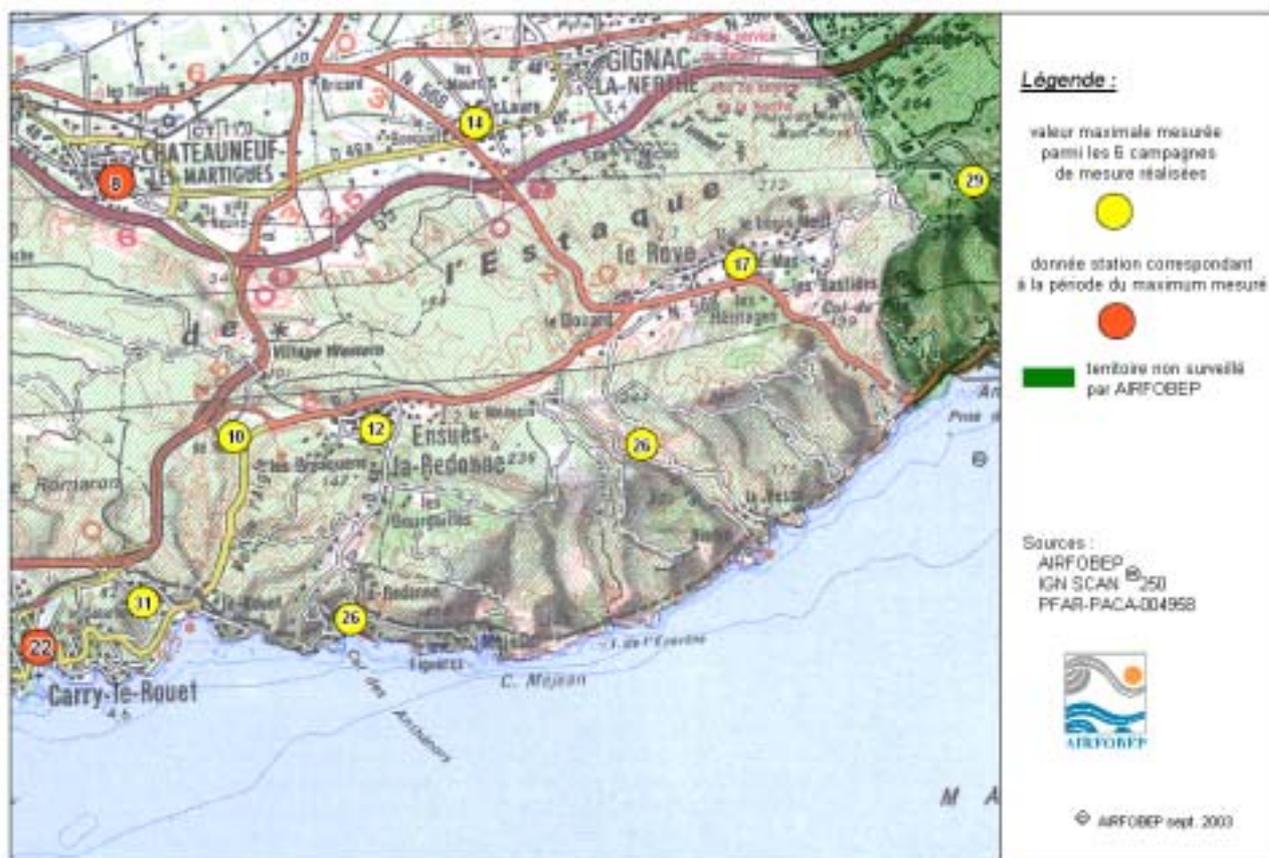


Figure 34 : Campagnes d'échantillonneurs passifs réalisées entre juillet 2001 et juillet 2002, 6 campagnes de mesures de 15 jours. Les moyennes « tubes » indiquées correspondent à la moyenne maximale sur 15 jours observée sur l'ensemble des 6 campagnes. La moyenne de la station indiquée a été calculée sur la même quinzaine que la moyenne maximale observée sur l'ensemble du territoire [3].

Par exemple, le maximum observé durant les 6 campagnes, est de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur quinze jours, (campagne tube n°2, du 23 octobre au 6 novembre 2001). Les valeurs obtenues aux stations de Carry et de Châteauneuf (respectivement 8 et $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondent à cette même quinzaine. Il apparaît, aux incertitudes près (30 % sur les échantillonneurs passifs cf. II.2.3), que la station de Carry est représentative des niveaux de pollution de cette zone.



Ces différentes campagnes convergent vers deux éléments :

- Lors des situations de pollution généralisée liées à des périodes de stabilité atmosphérique, Ensues et le Rove, lieux les plus habités de cette zone, sont moins concernés que beaucoup d'autres de la région de l'étang de Berre.
- Sur des pollutions directionnelles, il doit y avoir sur cette zone des retombées de panaches industriels, mais qui épargneraient les endroits habités.

Il est proposé d'effectuer d'autres campagnes temporaires pour vérifier l'existence et éventuellement identifier les lieux de retombées de panaches. C'est à la lumière de cette investigation complémentaire que la question de l'implantation d'une station de surveillance pourra être tranchée.

IV.3 Zones où la surveillance pourrait être allégée

IV.3.1 Le cas des zones d'Arles, Salon de Provence et de Saint-Martin-de-Crau

IV.3.1.1 Selon la réglementation

Les résultats d'optimisation mathématique indiquent que, les zones où sont localisées les stations d'Arles, de Saint-Martin et de Salon-de-Provence ne nécessitent pas une surveillance de la pollution. Le Tableau 9 présente pour chacune de ces stations, la densité de population dans un rayon de 1 km, la comparaison des valeurs relevées par rapport aux seuils minimal et maximal d'évaluation et son implication dans les dispositifs d'information du public ou de réduction des émissions (STERNES).

	Date de mise en fonction	Densité de population (hbts/km ²)	Seuil d'évaluation minimal*	Seuil d'évaluation maximal*	Sternes	Info préfectorale
Arles	1986	4030	<		-	x
Salon-de-Provence	1999	3750	<		-	x
Saint-Martin-de-Crau	1999	965	<		-	x

Tableau 9 : Evaluation des stations par rapport aux seuils d'évaluation minimaux et maximaux.

* Comparaison des concentrations relevées sur les 5 dernières années par rapport à ce seuil.

Les stations d'Arles, Salon-de-Provence et Saint-Martin-de-Crau observent des concentrations inférieures au seuil minimal (cf. Annexe 6), l'évaluation de la pollution peut donc se borner à l'emploi de techniques de modélisation ou d'estimation objectiveⁱ.

Cependant, toutes ces stations sont employées pour la procédure d'information préfectorale qui nécessite de disposer de données horaires :

- Arles et Saint-Martin sont dans la même zone d'information,
- Salon-de-Provence est couplée avec La Fare-les-Oliviers.

Aucune procédure n'a été déclenchée dans ces zones depuis octobre 2002.

Ces stations sont également utilisées pour calculer l'indice de la qualité de l'air et renseigner quotidiennement la population.

ⁱ L'estimation objective est « le résultat obtenu par la mise en œuvre de toute méthode formalisée permettant d'estimer l'ordre de grandeur des concentrations en polluants en un point donné ou sur une aire géographique, sans nécessairement recourir à des outils mathématiques complexes ou aux équations de la physique. »

IV.3.1.2 Selon les études de terrain

Ces stations mesurent rarement des valeurs élevées (maxima observés en moyenne horaire de 87, 185 et 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ respectivement à Arles, Salon et Saint-Martin, en 2003). Ce sont ces trois mêmes stations qui ont enregistré en 2003, les plus faibles maxima horaires parmi les 27 analyseurs de SO_2 du réseau de surveillance. C'est également ce trio qui enregistrent les plus faibles moyennes annuelles, percentiles 97 (Cf. Annexe 3), maxima journaliers et dépassements des valeurs limites [11].

Cependant, les stations d'Arles, Salon et de Saint-Martin sont des indicateurs des niveaux observables loin de toute influence industrielle importante. Ainsi, deux de ces stations - Arles et Salon-de-Provence - ont servi de référence dans une étude épidémiologique importante conduite dans la région de l'étang de Berre [10].

C'est pourquoi, il est important de garder au moins une de ces stations comme station de référence du réseau hors de l'influence industrielle.

IV.3.1.3 Propositions

Bien que la mesure ne soit pas réglementairement obligatoire, les modalités de surveillance envisageables sont de deux types :

- mesure en continu tel que c'est le cas actuellement,
- mesure discontinue à l'aide d'échantillonneurs passifs.

Les stations, qui pourraient être concernées par cet allègement de la surveillance, seraient par ordre de priorité décroissante compte-tenu des densités de population : Saint-Martin-de-Crau, Salon-de-Provence et Arles.

IV.3.2 Le cas de Miramas et Port-Saint-Louis-du-Rhône

IV.3.2.1 Selon la réglementation

Le Tableau 10 présente pour chaque station, la densité de population dans un rayon de 1 km, la comparaison des valeurs relevées par rapport aux seuils minimal et maximal d'évaluation et son implication dans les dispositifs d'information du public ou de réduction des émissions (STERNES).

	Date de mise en fonction	Densité de population (hbts/ km^2)	Seuil d'évaluation minimal*	Seuil d'évaluation maximal*	Sternes	Info préfectorale
Miramas	1991	180	>	<	-	x
Port-Saint-Louis	1988	1258	<		-	

Tableau 10 : Evaluation des concentrations relevées par les stations en 2002, 2003 stations par rapport aux seuils d'évaluation minimaux et maximaux. * Comparaison des concentrations relevées sur les 5 dernières années par rapport à ce seuil.

Les concentrations relevées à Port-Saint-Louis sont inférieures au seuil d'évaluation minimal et ce depuis plus de 5 ans (cf. Annexe 6). Cet analyseur se situe ainsi dans le même cas que ceux d'Arles, Saint-Martin et Salon par rapport à la réglementation. Une estimation objective serait suffisante. Par ailleurs, cette station n'appartient pas au dispositif préfectoral d'information de la population.

Le capteur de Miramas se distingue par des concentrations supérieures au seuil d'évaluation minimal (cf. Annexe 6). En effet, il y a eu un dépassement de ce seuil d'évaluation dans les cinq dernières années. (De façon rigoureuse, la directive européenne 1999/30/CE considère qu'il y a réellement dépassement à partir de trois dépassements annuels sur les cinq dernières années [6]). La réglementation impose a minima, la possibilité d'une combinaison de mesures et de techniques de modélisation pour évaluer la qualité de l'air. Par contre, cette station est impliquée dans le dispositif préfectoral d'information de la population pour la zone d'Istres qui couvre Istres, Cornillon-Confoux, Miramas et Saint-Chamas. Le déclenchement de ces procédures nécessite deux stations (Istres & Miramas). A ce jour, aucune procédure d'information n'a été déclenchée dans cette zone.

IV.3.2.2 Selon les études de terrain

IV.3.2.2.1 Miramas

Les concentrations observées à Miramas sont plus élevées que celles mesurées à Arles, Saint-Martin et Salon. En effet, le maxima horaire observé en 2003 était de $276 \mu\text{g}/\text{m}^3$, très proche du seuil d'information et de recommandation. Ce dernier avait été dépassé 3 fois en 2002. C'est pourquoi, cette station ne saurait faire, dans l'état actuel des niveaux de pollution, l'objet d'un allègement de la surveillance.

IV.3.2.2.2 Port-Saint-Louis

D'après les résultats de modélisation, le capteur de Port-Saint-Louis paraît d'un intérêt limité. En effet, il n'apparaît que sur les tests de modélisation concernant la pollution de fond et encore dans seulement 8 % des cas. En outre, la station telle qu'elle est placée (au château d'eau), témoigne davantage de la qualité de l'air sur la commune des Salins-de-Giraud qu'à Port-Saint-Louis en terme de pollution de pointe. La station n'est pas placée sous le vent des sources d'émission.

- *Dépassement des seuils réglementaires*

Cette station a mesuré un seul dépassement du seuil de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ en 2002 (contre par exemple 88 à Martigues les Laurons). De même, la pollution de fond n'est pas très marquée en ce lieu, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur Port-Saint-Louis ont été enregistrés en moyenne annuelle en 2002, (contre $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Martigues Les Laurons [11]).

- *Résultats des échantillonneurs passifs*

Les résultats des campagnes d'échantillonneurs passifs [3] donnent également des éléments d'information sur cette zone (cf. Figure 35).



Figure 35 : Campagnes échantillonneurs passifs (« tubes ») réalisées entre juillet 2001 et juillet 2002, 6 campagnes de mesures de 15 jours. Les moyennes tubes indiquées correspondent à la moyenne maximale sur 15 jours observée sur l'ensemble des 6 campagnes. La moyenne de la station correspond à la moyenne la même quinzaine que la moyenne maximale observée sur l'ensemble du territoire.



La station observe environ $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur quinze jours quand la ville observe sur la même période $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces chiffres sont à prendre avec précaution dans la mesure où l'incertitude est d'autant plus grande que les valeurs sont faibles, a fortiori pour les échantillonneurs passifs. Toutefois, les résultats de ces campagnes confirment les précédents, à savoir que la station n'est pas sous l'axe des panaches et sous-estime les niveaux de concentrations observés en centre-ville, ces niveaux restant cependant faibles.

IV.3.2.3 Propositions

En ce qui concerne Port-Saint-Louis, les concentrations relevées ne justifient pas le maintien d'une mesure en continu. Par ailleurs, cette station n'est pas impliquée dans un dispositif préfectoral d'information ou de réduction des émissions. Cependant, comme les capteurs d'Arles, Salon et de Saint-Martin-de-Crau, cette station a une valeur indicatrice des niveaux de fond observés, aux portes du Parc Naturel Régional de Camargue.

L'allègement de la surveillance à la station de Miramas, ne serait à envisager qu'en dernier recours, du fait des niveaux de concentrations plus élevés qui y sont rencontrés et du dépassement du seuil d'évaluation minimal constaté au moins une fois dans les cinq dernières années.

IV.3.3 Conclusion

Les lieux où, en accord avec la réglementation, la surveillance pourrait être allégée sont par ordre de priorité décroissante, (compte-tenu à la fois de la densité de la population et de la participation aux procédures préfectorales d'informations) :

Port-Saint-Louis > Saint-Martin-de-Crau > Salon-de-Provence > Arles > Miramas

Avant de procéder à des modifications des méthodes de surveillance, plusieurs éléments sont à prendre en compte :

- La substitution d'une mesure en continu par une mesure discontinue à l'aide d'échantillonneurs passifs implique un abandon de la surveillance des pointes de pollution,
- Ces stations, peuvent être utiles en tant qu'indicateur des niveaux dans des zones éloignées des principales sources d'émissions.
- Ces capteurs ont un historique plus ou moins long (entre 5 et 18 ans) qui permet d'observer l'évolution de la qualité de l'air sur de longues périodes. Il est nécessaire dans ce cadre de garder au moins une de ces stations en tant que référence hors de l'influence des émissions industrielles. Dans l'idéal, ce serait les deux stations d'Arles et de Salon-de-Provence puisqu'elles ont déjà servi de référence dans des études sanitaires.

IV.4 Les zones avec une forte densité de stations

La question a très souvent été posée de l'intérêt d'une densité importante de station dans les zones de Martigues de Berre-l'Etang et de Port-de-Bouc.

Cette étude de modélisation ne permet pas de déterminer le nombre optimal de stations dans ces zones. Des concentrations élevées de dioxyde de soufre y sont mesurées, la modélisation confirme seulement la nécessité de la surveillance. Les caractéristiques de ces stations du point de vue réglementaire sont indiquées dans le tableau suivant (Tableau 11).



		Date de mise en fonction	Densité de population couverte par la station	Seuil d'évaluation maximal *	Sternes	Info Préfectorale
Berre	Berre-l'Etang	1981	2801	>	x	x
	Berre magasin	1999	3600	>	x	x
Port-de-Bouc	Castillon	1980	388	>	x	x
	EDF	1998	3310	>	x	x
	La Lèque	1989	1719	>	x	x
Martigues Quartiers sud	La Gatasse	1981	5	>	x	x
	La Couronne	1991	622	>	x	x
	Les Ventrons	1984	105	>	x	x
	Les Laurons	1992	100	>	x	x

Tableau 11 : Caractéristiques des stations dans les zones jugées denses en points de mesure.

* Comparaison des concentrations relevées sur les 5 dernières années par rapport à ce seuil.

Toutes ces stations mettent en évidence des concentrations supérieures au seuil maximal (cf. Annexe 6). Selon la réglementation, « l'évaluation est obligatoirement réalisée par des mesures et les techniques de modélisation peuvent être utilisées en complément ». Les stations de mesure en continu y sont donc indispensables.

IV.5 Volet financier

IV.5.1 Pour une station mono-polluant

Pour comparer les coûts d'une surveillance par mesure en continu avec une surveillance par mesure discontinue à l'aide d'échantillonneurs passifs, il est nécessaire de quantifier les coûts de consommables, de maintenance, d'amortissement et de commodités (Tableau 12).

Coût approximatif HT	Fréquence de mesure	Pour un site par an					Total pour un site
		Amortissement de l'achat ***	Commodités (électricité – téléphone)	Consommables	Maintenance	Etude préliminaire **	
Analyseur SO ₂ *	Quart-horaire	1900 €	200€	4800€			6 900 €
Echantillonneurs Passifs SO ₂	Tous les 15 jours		-	1 600 €	7 800 €	1600 €	11 000 €
	15 jours / mois		-	800 €	7 800 €	1600 €	10 200 €
	15 jours / 2 mois		-	400 €	3 900 €	1600 €	5 900 €

Tableau 12 : Tableau de comparatifs des coûts.

* Les coûts de pièces détachées ne sont pas comptabilisés.

** L'étude préliminaire correspond à une pré-campagne de 10 tubes par site nécessaire avant de mettre en place une surveillance par tube.

*** Amortissement calculé pour un investissement initial de 13 000€ amorti sur 7 ans.

Dans le cas des échantillonneurs passifs, le coût des consommables comprend l'achat et l'analyse des supports. La maintenance, sous-traitée, concerne le déplacement nécessaire à la pose et dépose du tube.

Les coûts sont du même ordre de grandeur dans les deux premiers cas d'utilisation d'échantillonneurs passifs. L'avantage en terme de coût est décisif entre la station fixe et les échantillonneurs pour une fréquence de 15 jours d'échantillonnage sur 2 mois.

IV.5.2 Pour une station multi-polluant

Le coût de maintenance d'un analyseur est rentabilisé en partie par le fait que plusieurs capteurs analysant différents polluants sont présents dans la plupart des stations (cf. Tableau 13).

Nombre d'analyseurs dans la station*	Amortissement de l'achat	Commodités (électricité –téléphone)	Maintenance	Total pour la station
1	1 900 €	200€	4800€	6 900 €
2	3 800 €	400€	4800€	9 000 €
3	5 700€	600€	4800€	11 100 €
4	7 600 €	800€	4800€	13 200 €
5	9 500 €	1 000€	4800€	15 300 €

Tableau 13 : Coût approximatif HT d'une station équipée de un ou plusieurs analyseurs.
*le coût moyen d'un analyseur quelque soit le composé mesuré est de 13 000€ amorti sur 7 ans.

Ainsi, les coûts engendrés par les différentes modalités de surveillance sont variables en fonction du nombre de polluants mesurés par la station (cf. Tableau 14). Pour mémoire, les stations d'Arles, Salon, Saint-Martin et Miramas comportent plusieurs analyseurs, à savoir 5 pour la première et 3 pour les dernières ; la station de Port-Saint-Louis ne mesurant que le dioxyde de soufre.

Coût HT annuel	Modalités de mesure du polluant SO ₂	
	Discontinues	Continues
1 Polluant (SO ₂)	5 900€	6 900€
3 Polluants (SO ₂ + 2 polluants en continu)	14 900 €	11 100€
5 Polluants (SO ₂ + 4 polluants en continu)	19 100€	15 300€

Tableau 14 : Coût annuel en fonction du nombre de polluants mesurés.

Ainsi, enlever un analyseur SO₂ ne correspond pas à une économie nette dans le cas où plusieurs analyseurs sont utilisés dans la station.

Ce comparatif est une première approche. Dans le cas d'une décision de changement de modalités de surveillance sur une station, une étude plus fine devra être réalisée.



V. CONCLUSION

La problématique du dioxyde de soufre est d'une importance cruciale dans la région de l'étang de Berre comme le souligne le bilan 2004 du ministère en charge de l'environnement [1]. C'est dans cette optique que s'est inscrit ce projet « Optimisation du réseau dioxyde de soufre d'AIRFOBEP ». Cette étude de grande ampleur a non seulement suscité l'adhésion et la coopération de l'ensemble des partenaires locaux, mais a également permis d'évaluer les avantages et les limites d'outils de modélisation dans la région de l'étang de Berre.

Après le premier volet de ce projet consacré aux Méthodes & Outils [2], ce rapport s'attache à l'optimisation proprement dite. Il s'agit d'adapter les modalités de surveillance au mieux par rapport aux niveaux de pollution, dans une logique économique, mais aussi et surtout d'information de la population.

Les résultats sont les suivants :

- la zone d'Ensuès/le Rove est insuffisamment surveillée. Les premières campagnes réalisées en ce lieu n'ont pas permis de valider ce résultat. C'est pourquoi, d'autres campagnes temporaires d'évaluation de la qualité de l'air sont à prévoir afin d'identifier d'éventuelles pollutions directionnelles. L'opportunité de mettre en place une surveillance continue dans cette zone sera étudiée à la lumière de cette évaluation.
- 4 stations – Arles, Saint-Martin de Crau, Port-Saint-Louis, et Salon-de-Provence – ne sont pas relevées par l'algorithme d'optimisation. Ainsi, dans une logique mathématique, ces stations ne sont pas pertinentes pour représenter la pollution observée sur la région. Ces stations sont effectivement situées loin des principaux émissaires. La réglementation dans ce cas précis impose, a minima une estimation objective, c'est-à-dire une méthode formalisée estimant l'ordre de grandeur des concentrations en polluant, sans faire appel à la mesure. La solution envisagée est tout de même de procéder à la mesure à l'aide d'échantillonneurs passifs. La différence de coût est notable dans le cas où l'échantillonneur est posé pendant 15 jours tous les deux mois. Cependant cette différence ne représente une économie nette que dans le cas où la station ne mesure qu'un seul polluant.

Avant d'envisager un allègement de la surveillance par l'utilisation de tubes passifs, certaines considérations sont à prendre en compte :

- L'incertitude est plus grande sur ce type de mesure (environ 30 % contre 15% sur un capteur fixe SO_2), mais aussi et surtout la perte d'information est importante. En effet, seule la pollution de fond est mesurée.
- Ces stations sont engagées dans le dispositif préfectoral d'Information–Recommandation, exceptée celle de Port-Saint-Louis. Il faut toutefois noter qu'il n'y a eu aucun déclenchement sur ces zones depuis le 1^{er} octobre 2002.
- Ces stations possèdent un historique important (jusqu'à 18 ans pour Arles), très recherché dans de nombreuses études, notamment celles de modélisation ou de santé publique.
- Ces stations donnent une information appréciable sur l'évolution des niveaux de pollution rencontrés hors des zones d'émissions. Il est indispensable de garder au moins une de ces stations comme référence.

Ainsi, cette étude a permis de dégager les principales zones géographiques d'optimisation de la surveillance du dioxyde de soufre et les compléments ou alternatives envisageables par rapport à la surveillance en continu actuellement mise en place pour ce polluant. Elle doit être maintenant rapprochée d'un travail similaire pour les autres polluants notamment pour conduire dans son intégralité la comparaison financière des différentes hypothèses d'optimisation envisagées.



ANNEXES

ANNEXE 1 : Résultats des campagnes tubes

(extrait du rapport [3])

- **Choix des sites : méthodologie**

L'objectif de la surveillance de la qualité de l'air par les réseaux de mesure est l'évaluation de l'exposition de la population. Cette campagne a pour but d'avoir une vue d'ensemble des niveaux de concentration en dioxyde de soufre dans la région.

La zone d'étude du réseau AIRFOBEP compte environ 500 000 habitants et s'étend sur plus de 300 000 hectares. La zone d'étude a été découpée en unités d'espace en relation avec la densité de la population et la présence d'émetteurs.

Un quadrillage régulier a été réalisé sur le pourtour de l'étang de Berre qui concentre les principales sources d'émissions et une densité de population importante. 90 sites de mesures ont été installés sur cette zone soit environ un point de mesure tous les 3 km. Afin de respecter l'objectif fixé (cartographie des niveaux de fond du SO₂) nous avons recherché pour chaque maille un point représentatif de la pollution présente à l'échelle de cette maille.

Sur le reste de la zone d'étude, les sites de mesure ont été choisis afin d'estimer les niveaux de fond en dioxyde de soufre dans les principales villes de plus de 5000 habitants.



Carte 1 : Localisation des points de mesure du dioxyde de soufre

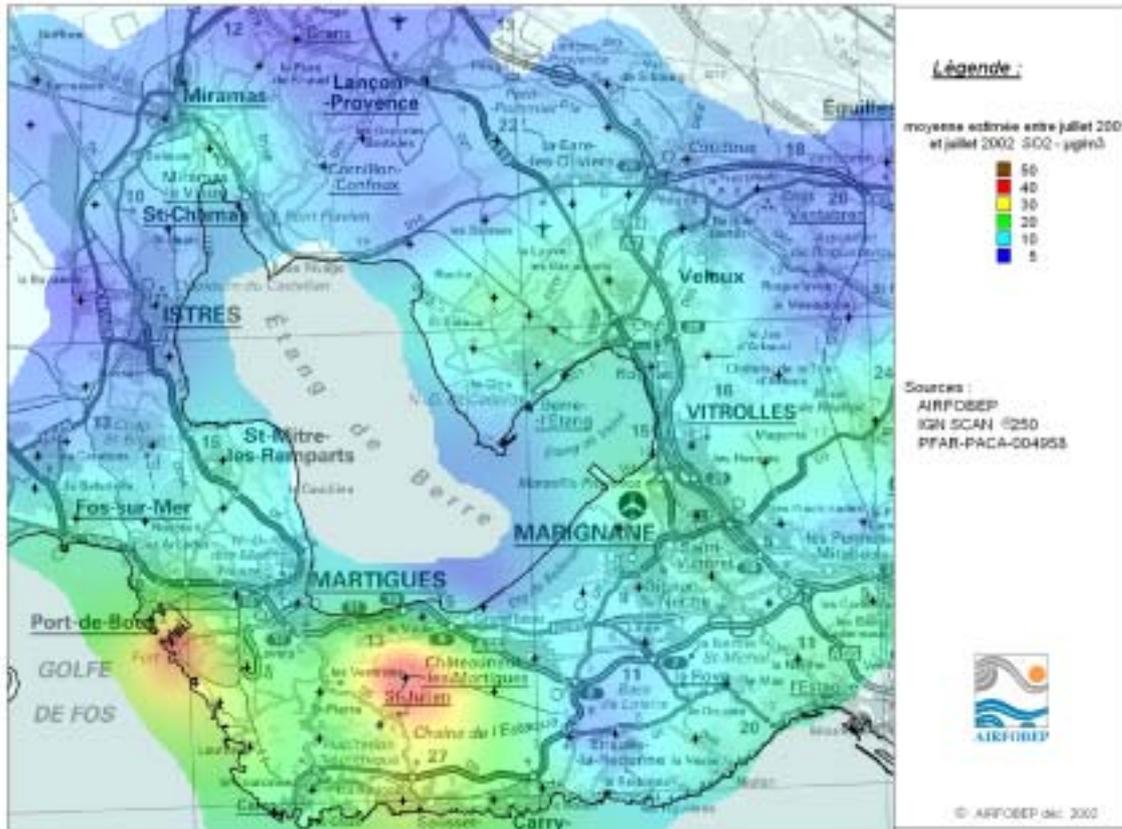
- **Déroulement de l'étude**

Pour estimer une moyenne annuelle nous avons réalisé 6 campagnes de mesure de 14 jours chacune à l'aide d'échantillonneurs passifs. Ces campagnes ont été menées à intervalle régulier entre juillet 2001 et juillet 2002 soit une tous les 2 mois.

Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Campagne 4	Campagne 5	Campagne 6
14 au 28 août 2001	23 oct au 6 nov 2001	8 au 22 janv 2002	14 au 26 mars 2002	6 au 21 mai 2002	3 au 17 juillet 2002

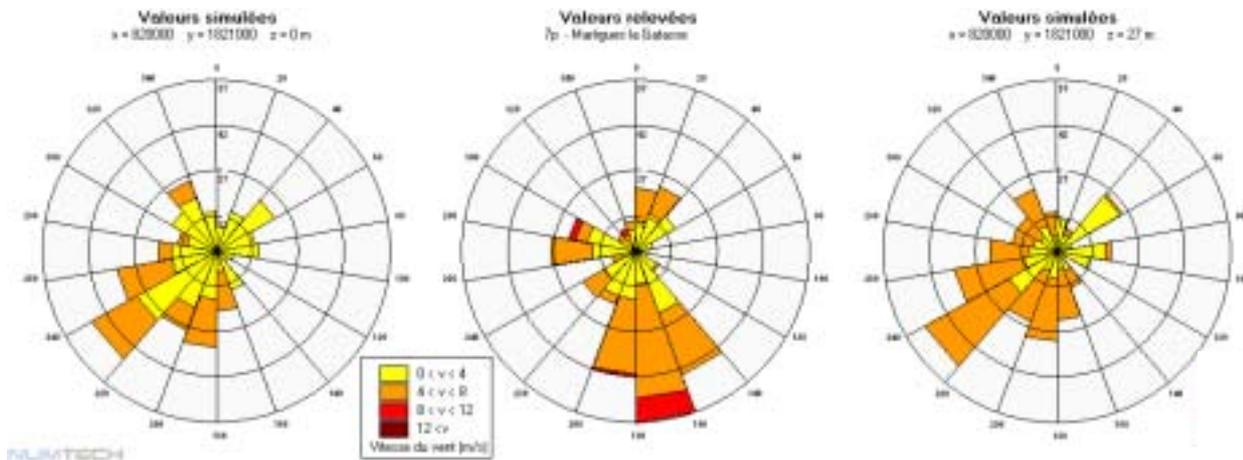
Tableau 15 : Dates des périodes 6 campagnes de mesure.

• Résultats

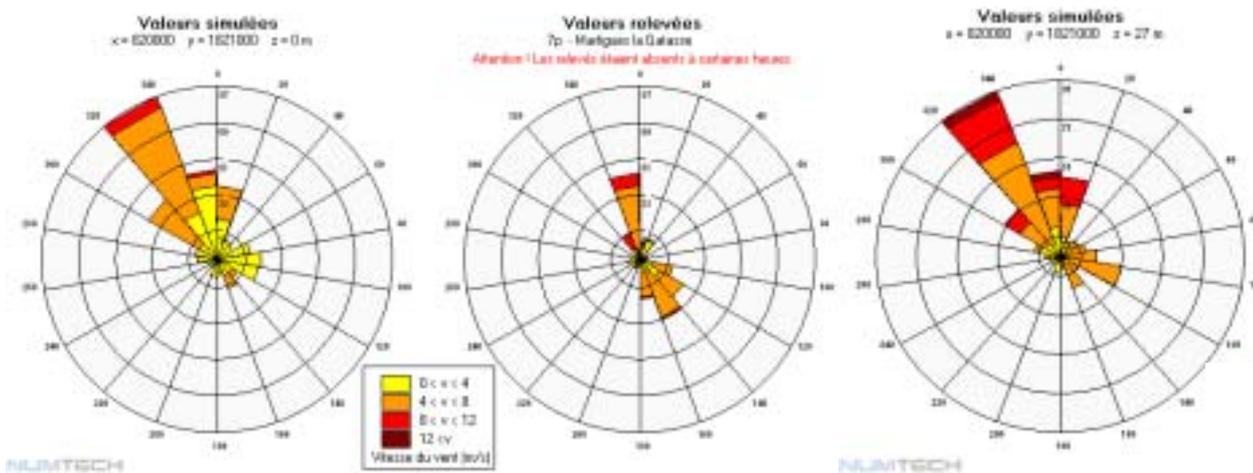


ANNEXE 2 : Validation du modèle sur les deux campagnes tubes de 2001

Rendu du modèle quant aux vitesses et directions du vent à la Martigues la Gatasse :



Graphique 1 – rose des vents à Martigues la Gatasse (altitude 122m) durant la campagne 1 de gauche à droite : simulée à 0 mètre, réelle à 4 m (hauteur tête de prélèvement), simulée à 27 m.



Graphique 2 – rose des vents à Martigues la Gatasse (altitude 122m) durant la campagne 2. de gauche à droite : simulée à 0 mètre, réelle à 4 m (hauteur tête de prélèvement), simulée à 27 m.

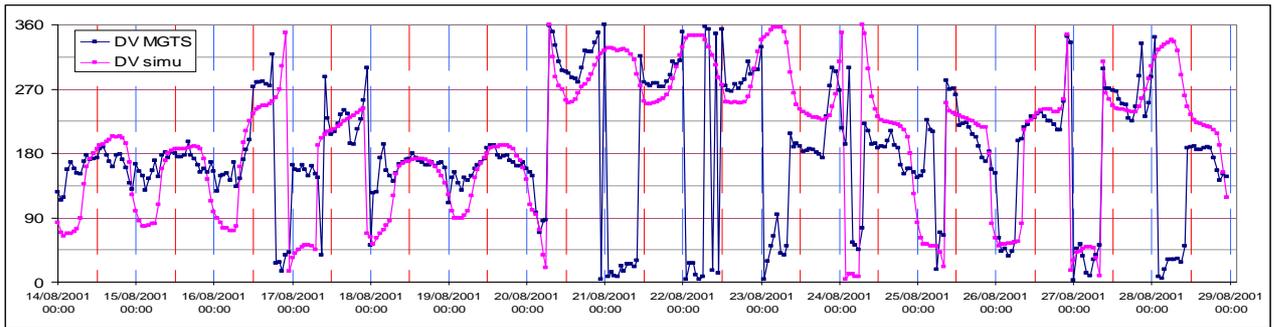
Que l'on prenne les résultats à 0 mètre ou au niveau vertical suivant du modèle, 27 mètres, le modèle a tendance à décaler plus au SO les flux de S. De façon générale d'ailleurs, la rose simulée semble être décalée de 20° à 40° trop vers l'ouest.

Sont tracés ci-dessous les évolutions des vitesse et direction de vent à Martigues la Gatasse sur les deux périodes.

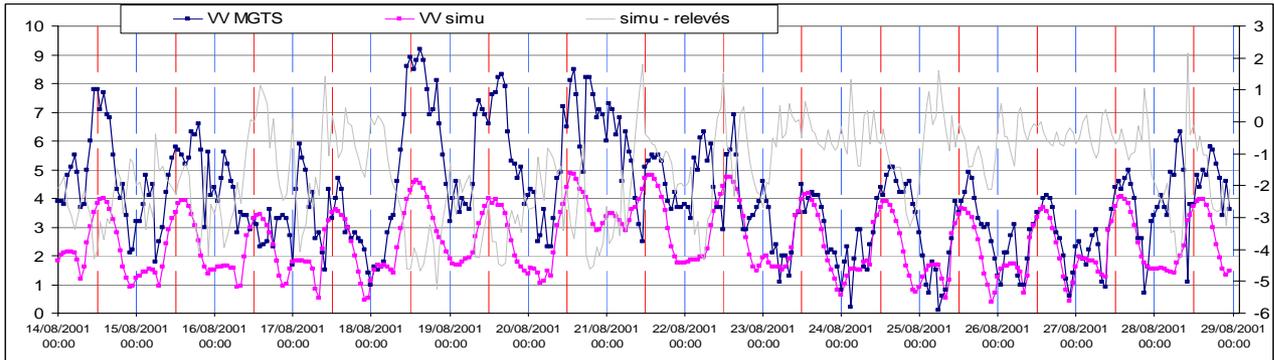
En résumé, dans la grande majorité des cas le modèle retranscrit de façon tout à fait correcte les variations et tendances des vitesses et directions du vent mais approche plus ou moins bien les valeurs réelles.

Plus précisément, on note des écarts dans les valeurs de direction de vent allant jusqu'à 45° mais sur des périodes inférieures à 6 heures. Les valeurs de vitesse de vent sont la plupart du temps sous estimées de 2 à 5 m/s (mais la tendance très bien retranscrite).

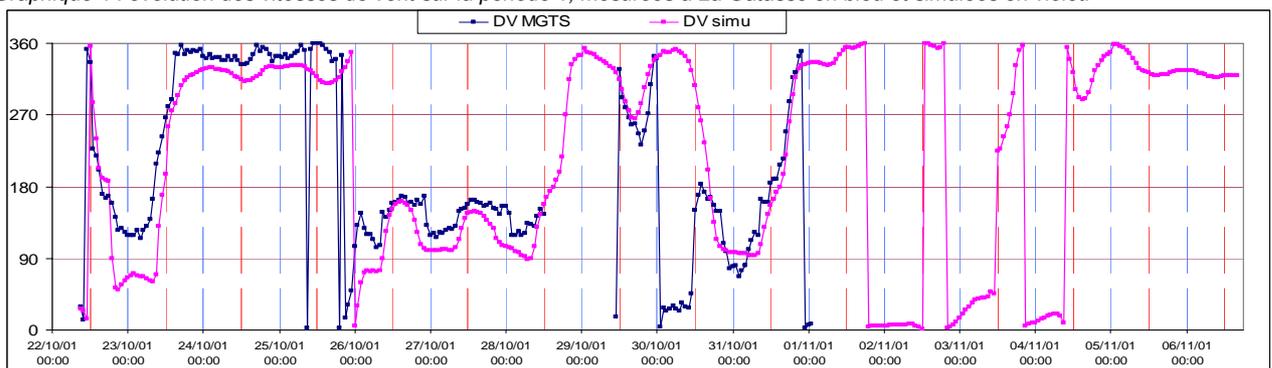
Le modèle donne de très bons résultats (les meilleurs pour cette période) dans des situations météorologiques où ne s'expriment que les brises : brise de terre la nuit avec un vent de NE balayée en fin de matinée par la brise de mer avec un vent de SO.



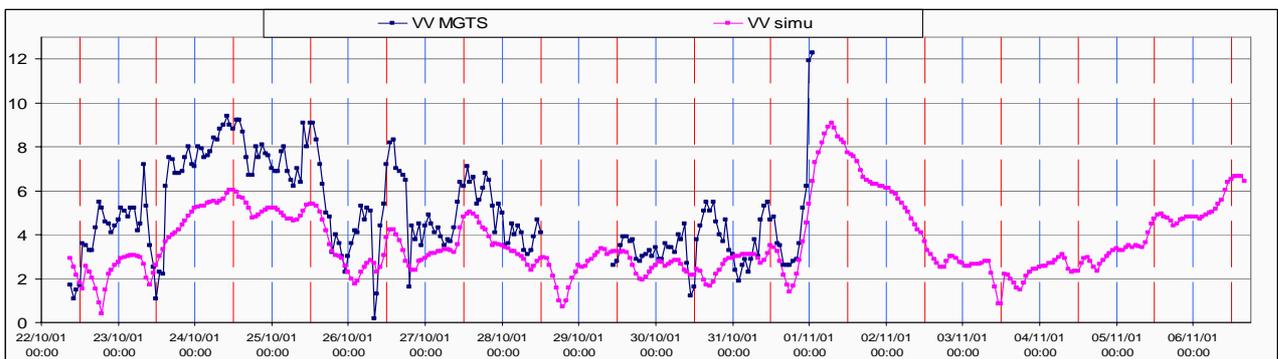
Graphique 3 : évolution des directions de vent sur la période 1, mesurées à La Gatasse en bleu et simulées en violet.



Graphique 4 : évolution des vitesses de vent sur la période 1, mesurées à La Gatasse en bleu et simulées en violet.

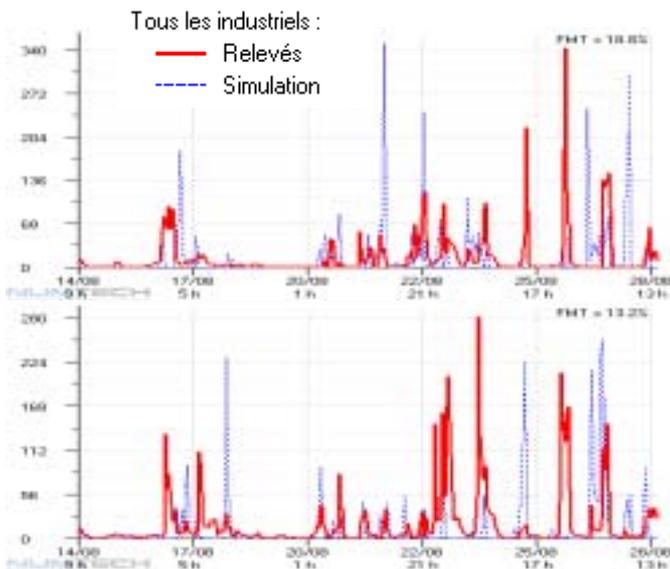


Graphique 5 : Evolution des directions de vent sur la période 2, mesurées à La Gatasse en bleu et simulées en violet.

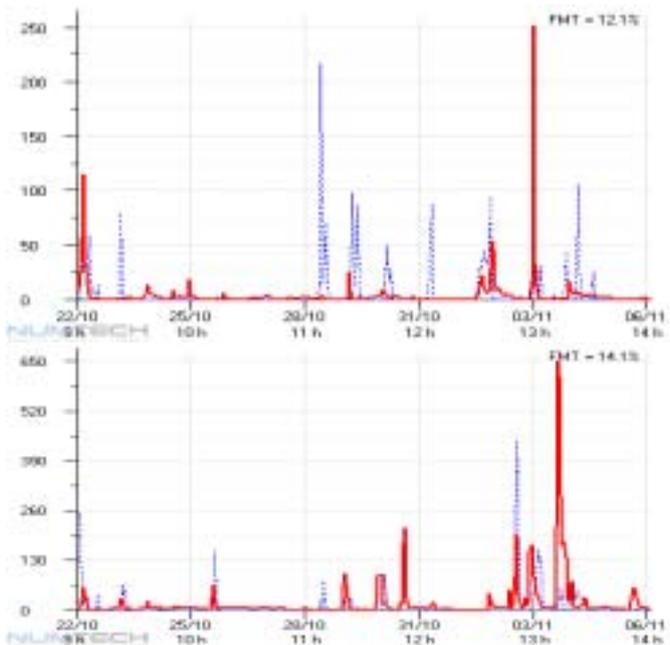


Graphique 6 : Evolution des vitesses de vent sur la période 2, mesurées à La Gatasse en bleu et simulées en violet.

Rendu de la dispersion par rapport aux mesures des stations du réseau :
Tracés d'évolution temporelle des concentrations pour 2 stations :



Graphique 7 : Relevés et simulations à Châteauneuf les Martigues et à la Gatasse durant la période 1.



Graphique 8 : Relevés et simulations à Châteauneuf les Martigues et à la Gatasse durant la campagne 2.

On observe des pics annoncés par le modèle trop tôt (La Gatasse le 17/08), des pics qui n'ont pas lieu d'être (Châteauneuf le 25/08), des pics dont l'intensité n'a pas été retranscrite par le modèle (Châteauneuf le 21/08), et quelques cas de pics surestimés (les 26 et 27/08 à la Gatasse). Cependant en général le modèle retranscrit les variations de concentrations.



La comparaison globale du modèle aux mesures des stations fixes d'AIRFOBEP donne les éléments suivants :

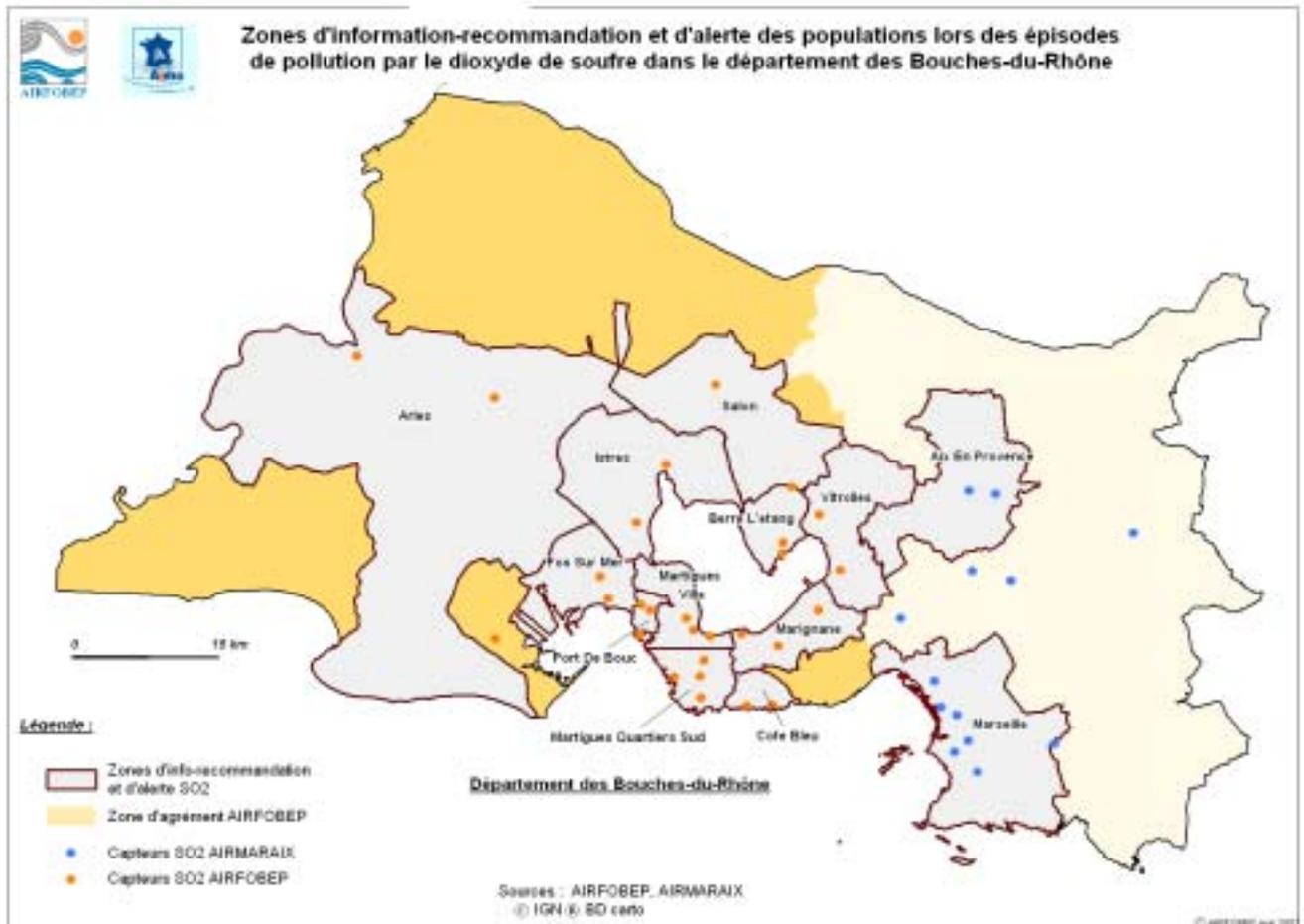
	Période 1		Période 2	
	Stations	simulations	Stations	simulations
Nb observations	13 931		14 940	
Biais	1.76		0.51	
Moyenne	14.96	13.20	8.37	7.86

Erreur du modèle sur la concentration SO ₂	Comparaison des valeurs aux stations avec			
	les valeurs des mailles correspondantes		les valeurs dans une bulle de 2km de rayon sur 27m de hauteur	
	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2
Inférieure à 20 %	7 % des cas	8 % des cas	27 % des cas	23 % des cas
Inférieure à 50 %	12 % des cas	11 % des cas	34 % des cas	28 % des cas

ANNEXE 3 : Valeurs des percentiles 97 pour l'année 2001

Stations	P97 horaire en 2001
Arles	15
Berre-l'Etang	74
Berre Magasin	50
Carry-le-Rouet	74
Marignane Ville	57
Châteauneuf	57
Châteauneuf La Mède	128
Fos-sur-Mer	122
Fos Les Carabins	37
Istres	43
La Fare-les-Oliviers	62
Martigues La Couronne	113
Martigues La Gatasse	99
Martigues l'Ile	63
Martigues Les Laurons	208
Martigues Les Ventrons	96
Martigues ND des Marins	56
Martigues Pati	71
Miramas le Vieux	43
Port-de-Bouc EDF	61
Port-de-Bouc La Lèque	176
Port-de-Bouc Castillon	82
Port-Saint-Louis	16
Rognac les Barjaquets	95
Saint-Martin-de-Crau	21
Salon-de-Provence	35
Sausset-les-Pins	133
Vitrolles	69

ANNEXE 4 : Zones d'Information-Recommandation SO₂



ANNEXE 5 : Polluants mesurés

STATIONS FIXES	N°	TYPE	SO ₂	H ₂ S	NO _x	O ₃	HC	CO	PS	FN	METEO
Arles	22	U	x	x	x	x			x		
Berre-l'Etang	1	U	x		x	x					
Berre Magasin	30	U	x								
Carry-le-Rouet	35	I	x						x		
Châteauneuf la Mède	29	I	x	x					x		
Châteauneuf-les-Martigues	3	I	x								
Fos-sur-Mer	11	U	x								
Fos Carabins	13	U	x		x	x			●		
Istres	12	U	x		x	x					
La Crau	10	I									x
La Fare-les-Oliviers	18	I	x								x
Marignane Jaï	2	O									x
Marignane Ville	31	U	x		x	x		x			
Martigues Ile	5	U	x		x				x		x
Martigues La Couronne	33	I	x								
Martigues La Gatasse	7	I	x								x
Martigues Les Laurons	6	I	x							x	
Martigues Les Ventrons	34	I	x						x		
Martigues ND Marins	4	U	x		x	x	x				x
Martigues Pati	36	I	x								
Miramas	17	P	x		x	x					
Port-de-Bouc La Lèque	8	U	x			x			x		
Port-de-Bouc Castillon	14	I	x								x
Port-de-Bouc EDF	37	U	x		x		x	x			
Port-S ^t -Louis	9	I	x								
Rognac Barjaquets	20	I	x		x	x	x		x		
Salon-de-Provence	16	U	x		x	x					
S ^t Martin-de-Crau	25	U	x		x	x					
S ^{tes} Maries-de-la-Mer	24	R				x					
S ^t Rémy-de-Provence	23	R				x					
Sausset-les-Pins	21	I	x		x	x					
Vitrolles	19	U	x		x	x	x				
Vitrolles Réaltor	32	I									x

Caractéristiques des stations de mesure de la qualité de l'air en 2003.

x : Analyseur en fonctionnement ● : analyseur installé au cours de l'année 2003.



ANNEXE 6 : Nombre de jours supérieurs au seuil minimal d'évaluation (50 µg/m³/j, à ne pas dépasser plus de 3 jours par an)

	Berre l'Etang	Berre magasin	Marignane	Châteauneuf	La Mède	MTG ND des Marins	MTG l'île	MTG Les Laurons	MTG La Gatasse	PDB La Lègue	Port-S'-Louis	S'-Martin-de-Crau	Fos	Istres	Fos Carabins	PDB Castillon	Salon-	Miramas	La Fare-les-Oliviers	Vitrolles	Rognac Les Barjaquets	Sausset-	MTG La Couronne	MTG Les Ventrons	Carry-le-Rouet	MTG Pati	PDB EDF	Arles	
1984																													
1985	71																			56	15								
1986	62								68											32	24			51					
1987	117								93											105	54			71					
1988	87								50											56	45			66					
1989	139								56		12					32				80	36			103					
1990	193			25		68	26		73	29	26		133	16		41				62	44	117		117					
1991	96			19		52	46		85	77	7		68	29		34		26	36	37	26	58	51	71					
1992	89			23		31	41		96	63	1		106	10		31		4	37	44	27	74	74	45		16		50	
1993	88			30		48	36	116	97	100	3		89	11		54		4	54	72	56	43	70	61	51	26		35	
1994	58			12		37	20	128	92	55	5		77	11		19		1	67	23	42	48	71	59	52	12		7	
1995	56			15		27	15	82	57	51	2		36	2		11		0	28	21	23	36	31	47	48	20		5	
1996	72			6		15	17	94	19	47	5		23	7		11		0	8	9	22	39	39	28	25	26		8	
1997	57			12		26		88	46	40	2		47	22		24		6	9	32	9	80	66	64	58	27		1	
1998	52		29	16		28	17	102	54	56	1		65	12	4	26		5	11	31	28	81	36	56	66	58			
1999	41	7	20	9		9	15	102	45	46	1		32	6	8	26		5	18	17	22	59	54	48	28	24	30		
2000	23	3	1	4		6	3	82	27	40	0	0	42	1	0	17	0	2	7	8	12	42	19	32	10	11	9	0	
2001	9	2	0	3	32	6	8	75	24	46	1	0	28	2	0	18	0	0	4	2	13	37	26	18	11	9	3	0	
2002	23	5	4	1	21	4	6	73	29	39	0	0	32	2	2	11	0	1	5	8	14	42	27	24	12	8	5	0	
2003	26		3	0	33	5	8	55	32	40	0	0	22	1	1	9	0	1	1	1	18	34	24	31	7	2	2	0	

MTG : Martigues, PDB : Port-de-Bouc.

Bibliographie

- [1] Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, *L'évolution de la qualité de l'air en France - le point au 1er janvier 2004- 10 mai 2004*-www.environnement.gouv.fr
« La situation reste cependant préoccupante dans les agglomérations fortement industrialisées où les valeurs limites annuelles pour la protection de la santé humaine sont encore dépassées. Il s'agit des régions suivantes : étang de Berre, Le Havre, zone industrielle de Basse-Loire (Donges), zone industrielle de Lacq - Lagor. De nouvelles mesures de réduction des émissions doivent donc impérativement être mises en œuvre. »
- [2] Numtech Airfobep, *Optimisation du réseau de surveillance du dioxyde de soufre sur le pourtour de l'étang de Berre –Méthodes et Outils- Rapport Final*, juillet 2003.
- [3] Airfobep, *Mesures (tubes passifs) des niveaux moyens de SO₂ 2001-2002*, septembre 2003.
- [4] Norme ISO 13-752.
- [5] Numtech, *Optimisation du réseau de surveillance du dioxyde de soufre sur le pourtour de l'étang de Berre – Phase 4 –* mai 2003.
- [6] Directive européenne 1999/30/CE relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant, 22 avril 1999.
- [7] Airfobep, *Campagne de mesure de la qualité de l'air à Ensues la Redonne*, février 1997.
- [8] Airfobep, *Campagne de mesure de la qualité de l'air au Rove*, octobre 2002.
- [9] Airfobep, *Campagne de mesure tubes dioxyde de soufre*, octobre 2003.
- [10] Services de pneumo-allergologie de l'Hôpital Nord (Pr Charpin) et de l'Hôpital Sainte-Marguerite (Pr Vervloet), Laboratoire de Santé Publique de la faculté de médecine de Marseille (Pr Sambuc, Dr Pascal), DDASS des Bouches-du-Rhône (Dr Armengaud) avec le concours du Réseau National de Santé Publique , du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris et du Centre Alpin de Recherche épidémiologique et de Prévention Sanitaire de Grenoble, *Etude épidémiologique Panoxy-Berre sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sur le pourtour de l'Etang de Berre*, 1996.
- [11] Airfobep, *Qualité de l'air de la région de l'étang de Berre et de l'ouest des Bouches-du-Rhône, Bilan de l'année 2003*, juin 2004.