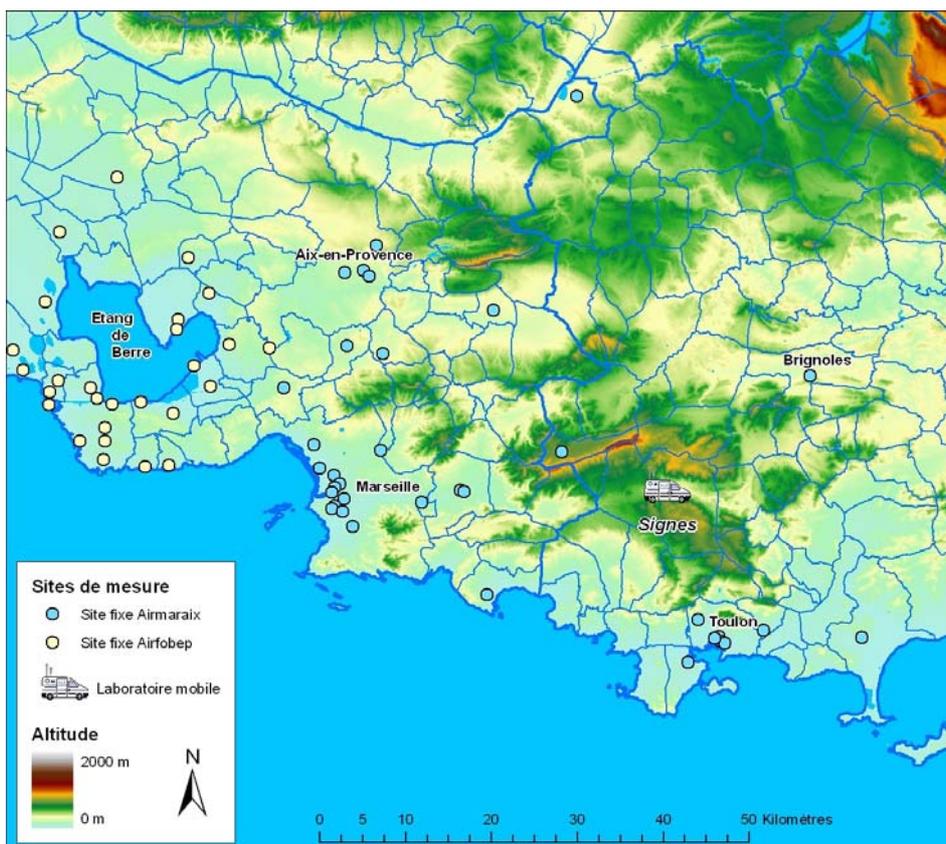


RAPPORT D'ÉTUDES

SIGNES

DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005



SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE	3
1.1. EMLACEMENT DU SITE	3
1.2. CARACTÉRISATION DU SITE.....	3
1.2.1. ENVIRONNEMENT GENERAL	3
1.2.2. ENVIRONNEMENT PROCHE	3
2. OBJECTIFS ET PARAMÈTRES MESURÉS	4
2.1. OBJECTIFS	4
2.2. PARAMÈTRES MESURÉS	4
2.2.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	4
2.2.2. PARAMÈTRES MÉTÉOROLOGIQUES.....	4
3. RÉSULTATS – DISCUSSION	5
3.1. PARTICULES EN SUSPENSION (POLLUTION AUTOMOBILE)	5
3.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	5
3.1.2. EFFETS SANITAIRES	5
3.1.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005	5
3.2. DIOXYDE D'AZOTE (POLLUTION AUTOMOBILE)	6
3.2.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	6
3.2.2. EFFETS SANITAIRES	6
3.2.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005	6
3.3. MONOXYDE DE CARBONE (POLLUTION AUTOMOBILE)	7
3.3.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	7
3.3.2. EFFETS SANITAIRES	7
3.3.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005	7
3.4. DIOXYDE DE SOUFRE (INDUSTRIE-CHAUFFAGE DOMESTIQUE)	8
3.4.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	8
3.4.2. EFFETS SANITAIRES	8
3.4.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005	8
3.5. OZONE (POLLUTION PHOTOCHEMIQUE)	9
3.5.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE	9
3.5.2. EFFETS SANITAIRES	9
3.5.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005	9
3.6. EXEMPLE D'ÉPISODE DE POLLUTION : PIC D'OZONE LE 12 JUILLET 2005	11
4. CONCLUSION	12

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

1.1. EMBLEMEMENT DU SITE

École primaire
Quartier Ferrage
83870 Signes

1.2. CARACTÉRISATION DU SITE

1.2.1. ENVIRONNEMENT GENERAL

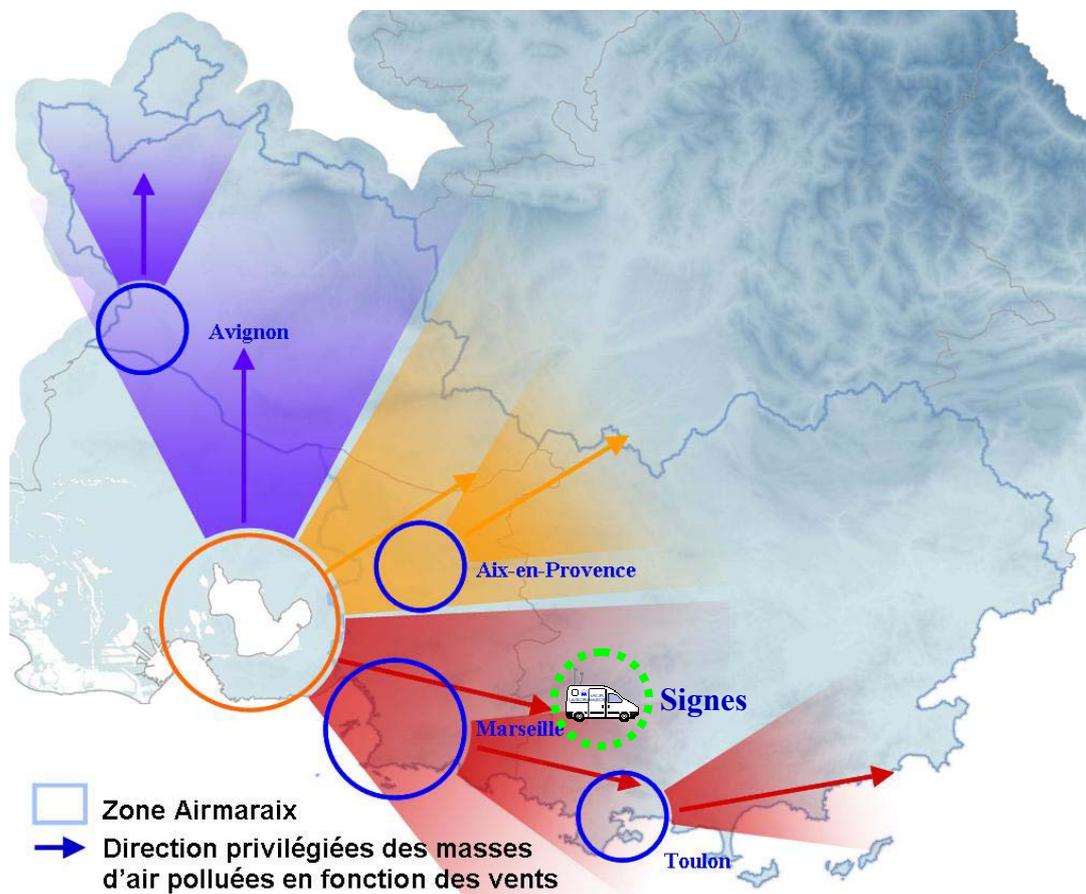
La ville de Signes est située au sud du massif de la Sainte Baume, au confluent des brises de sud-ouest venues de la côte des Bouches-du-Rhône et des brises de sud-est venues de la côte Varoise.



1.2.2. ENVIRONNEMENT PROCHE

Le laboratoire mobile était placé dans la cour de l'école primaire, à l'entrée ouest de la ville.

Figure 1 : localisation de la campagne par rapport aux principaux mouvements de masses d'air polluées



2. OBJECTIFS ET PARAMÈTRES MESURÉS

2.1. OBJECTIFS

- L'objectif principal de la campagne est d'étudier le transfert de masses d'air chargées en polluants photochimiques, entre les Bouches-du-Rhône et le Var. Il s'agit en particulier d'observer le rôle des brises et du relief local sur les trajectoires des masses d'air.
- Cette campagne sera également l'occasion d'évaluer les niveaux de pollution primaire sur la zone.

2.2. PARAMÈTRES MESURÉS

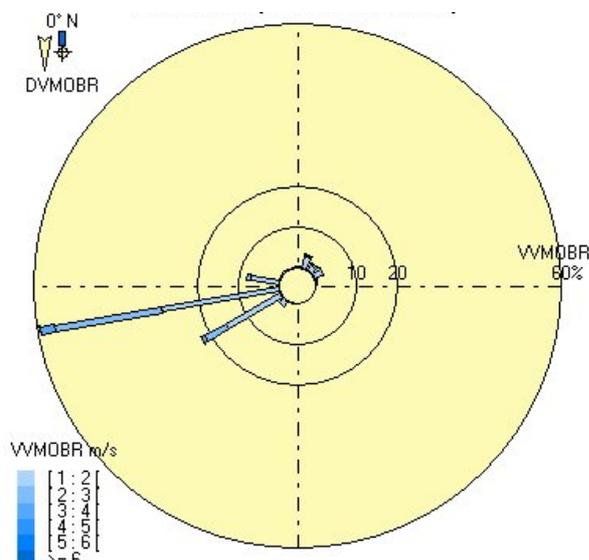
2.2.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CIMIQUES

- NO/NO₂ (monoxyde et dioxyde d'azote) traceur de la pollution automobile
- CO (monoxyde de carbone) traceur de la pollution automobile
- PM₁₀ (particules en suspension) traceur de la pollution automobile et industrielle selon les contextes
- O₃ (ozone) traceur de la pollution photochimique
- SO₂ (dioxyde de soufre) traceur de la pollution industrielle et des chauffages domestiques

2.2.2. PARAMÈTRES MÉTÉOROLOGIQUES

- Température (minimum : 10.9°C ; moyenne : 23.3°C ; maximum : 35.2°C)
- Humidité (minimum : 14% ; moyenne : 45% ; maximum : 94%)
- Direction et vitesse de vent (cf. Figure 2 ci-dessous)
-

Figure 2 : rose des vents mesurés par le laboratoire mobile durant la campagne



Les vents mesurés à Signes durant la campagne de mesure étaient faibles, rarement supérieurs à 3 m/s, et majoritairement d'est-sud-est, correspondant à des brises ou des brises composées, canalisées par le massif de la Sainte Baume au nord.

3. RÉSULTATS – DISCUSSION

3.1. PARTICULES EN SUSPENSION (POLLUTION AUTOMOBILE)

3.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Les PM₁₀ (particules en suspension d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) sont principalement issus de la combustion des produits pétroliers.

Les sources principales en sont donc le trafic routier (diesel en particulier) et l'industrie, avec une prédominance de l'automobile, surtout dans les zones fortement urbanisées. Les niveaux élevés sont enregistrés lors de conditions anticycloniques hivernales.

3.1.2. EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une irritation des voies respiratoires inférieures, des effets mutagènes et cancérigènes (dus notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou HAP, adsorbés à la surface des particules) et une mortalité prématurée.

3.1.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005

Tableau 1 : évaluation des niveaux de PM₁₀

PM ₁₀ en µg/m ³ .	Signes	Hyères	Toulon Chalucet
Moyenne sur la période	18	23	31
Moyenne annuelle 2004 (Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³ /an : objectif 01/01/05)	18 (estimation)	23 (estimation)	30
Maximum horaire	109	71	151
Maximum journalier	41	47	63
Nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine (50 µg/m ³ /jour, tolérance 35 jours/an : objectif 01/01/05)	0	0	3

Les niveaux de particules en suspension mesurés durant la campagne sont faibles, proches du niveau de fond naturel (érosion, particules d'origine organique, poussières mises en suspension par le vent...). Les normes sont largement respectées.

3.2. DIOXYDE D'AZOTE (POLLUTION AUTOMOBILE)

3.2.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le NO₂ (dioxyde d'azote) est un polluant dont l'origine principale est le trafic routier, issu de l'oxydation de l'azote atmosphérique et du carburant lors des combustions à très hautes températures. C'est le NO (monoxyde d'azote) qui est émis à la sortie du pot d'échappement, il est oxydé en quelques minutes en NO₂. La rapidité de cette réaction fait que le NO₂ est considéré comme un polluant primaire. On le retrouve en quantité relativement plus importante à proximité des axes de forte circulation et dans les centres-villes.

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. Les oxydes d'azote sont des précurseurs de la pollution photochimique et de dépôts acides (formation d'acide nitrique).

3.2.2. EFFETS SANITAIRES

Ses principaux effets sur la santé occasionnent une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

3.2.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005

Tableau 2 : évaluation des niveaux de NO₂

NO ₂ en µg/m ³ .	Signes	Hyères	Toulon Chalucet
Moyenne sur la période	5	15	33
Moyenne annuelle [année] (Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m ³ /an : objectif 01/01/10)	7 (estimation)	22 (estimation)	42
Maximum horaire (Seuil de recommandation : 200 µg/m ³ /h)	26	92	147
Nombre d'heures de dépassement de l'objectif de qualité (PRQA PACA : 135 µg/m ³ /h, tolérance 17 jours/an)	0	0	2
Nombre d'heures de dépassement de la valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine (200 µg/m ³ /h, tolérance 18 heures/an : objectif 01/01/10)	0	0	0
Maximum journalier	11	28	55

Les concentrations de dioxyde d'azote sont bas, caractéristiques d'une zone urbaine dispersée ou rurale, et sans influence proche d'un grand centre urbain. Les normes sont largement respectées.

3.3. MONOXYDE DE CARBONE (POLLUTION AUTOMOBILE)

3.3.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le CO (monoxyde de carbone) est un polluant issu de combustions incomplètes.

Il est principalement émis par l'automobile (à faible vitesse : ralentissements, bouchons), mais aussi par les chauffages domestiques. On le retrouve surtout à proximité des axes à fort trafic et en milieu confiné. Il est plus particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver qui limitent sa dispersion habituellement rapide.

3.3.2. EFFETS SANITAIRES

Il provoque une baisse de l'oxygénation du sang (hypoxie) en se fixant à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine. C'est aussi un neurotoxique (céphalées, troubles du comportement, vomissements) et un myocardiotoxique. Il provoque également des troubles sensoriels (vertiges).

3.3.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005

Tableau 3 : évaluation des niveaux de CO

CO en mg/m ³ .	Signes	Toulon Foch
Moyenne sur la période	0.1	0.3
Maximum horaire	0.9	2.4
Nombre d'heures de dépassement de la recommandation (Organisation Mondiale de la Santé : 30 mg/m ³ /h)	0	0
Maximum journalier	0.3	0.5

La pollution par le monoxyde de carbone enregistrée durant la campagne est quasi nulle, signe d'un trafic automobile faible.

3.4. DIOXYDE DE SOUFRE (INDUSTRIE-CHAUFFAGE DOMESTIQUE)

3.4.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le SO₂ (dioxyde de soufre) est un polluant d'origine principalement industrielle, issu de la combustion de produits pétroliers. En ville, il provient des activités anthropiques et notamment des combustions au fuel (chauffages domestiques).

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. De plus en situation de vent moyen ou fort, la pollution industrielle peut être rabattue au sol et retomber en panache sous le vent des points d'émissions (cheminées d'usine). Ce polluant est un précurseur des dépôts acides (acide sulfurique).

3.4.2. EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une exacerbation des gênes respiratoires, des troubles de l'immunité du système respiratoire, un abaissement du seuil de déclenchement chez l'asthmatique, une mortalité prématurée. De plus, c'est un cofacteur de la bronchite chronique.

3.4.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005

Tableau 4 : évaluation des niveaux de SO₂

SO ₂ en µg/m ³ .	Signes	La Valette
Moyenne sur la période	1	3
Moyenne annuelle [année] (Objectif de qualité : 50 µg/m ³ /an)	1 (estimation)	3 (estimation)
Maximum horaire (Seuil de recommandation : 300 µg/m ³ /h)	23	16
Nombre d'heures de dépassement de la valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine (350 µg/m ³ /h, tolérance 24 heures/an : objectif 01/01/05)	0	0
Maximum journalier	3	6
Nombre de jours de dépassement de valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine (125 µg/m ³ /jour, tolérance 3 jours/an : objectif 01/01/05)	0	0

Les taux de dioxyde de soufre sont très faibles, en raison de l'absence de source industrielle proche. Les normes ne sont pas approchées.

3.5. OZONE (POLLUTION PHOTOCHEMIQUE)

3.5.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

L'O₃ (ozone) est un polluant issu de réactions complexes faisant intervenir le NO₂ (dioxyde d'azote) et les COV (composés organiques volatils) sous l'action du rayonnement solaire. C'est donc un polluant secondaire, par opposition au NO₂ et aux COV qui sont des polluants précurseurs.

De part ses conditions de formation, l'ozone est présent surtout en été et pendant les heures les plus ensoleillées de la journée. De fortes concentrations d'ozone sont observées jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres des points d'émissions des polluants primaires et ceci sur des zones très vastes, fréquemment à l'échelle d'un département. A contrario, sur les centres villes la formation d'ozone n'est pas favorisée : il est consommé par le NO (monoxyde d'azote), entraînant la formation d'acide nitrique et de dioxyde d'azote. Cette propriété des centres villes à agir comme des « puits d'ozone » fait souvent appeler la pollution photochimique « pollution des champs ».

3.5.2. EFFETS SANITAIRES

Ses effets sur la santé correspondent à une irritation des muqueuses bronchiques et oculaires, une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique.

3.5.3. RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE DU 8 JUILLET AU 25 AOÛT 2005

Tableau 5 : évaluation des niveaux d'O₃

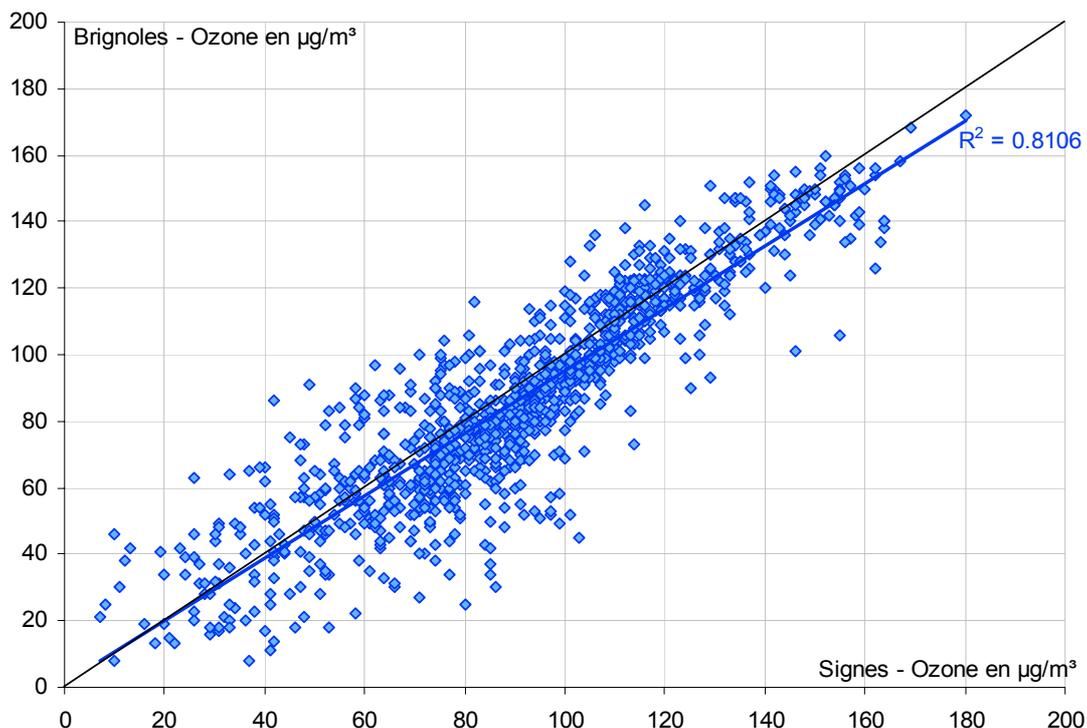
O ₃ en µg/m ³ .	Signes	Hyères	Brignoles
Moyenne sur la période	91	89	87
Maximum horaire (Seuil de recommandation : 180 µg/m ³ /h)	180	164	172
Nombre d'heures de dépassement du seuil de recommandation (180 µg/m ³ /h)	1	0	0
Dates de dépassements	12/07/05	/	/
Nombre d'heures de dépassement du seuil d'alerte européen (240 µg/m ³ /h)	0	0	0
Maximum sur 8H	157	146	153
Nombre de jours de dépassement de la valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine (120 µg/m ³ /8h, tolérance 25 jours/an : objectif 01/01/2010)	20	18	20
Maximum journalier	124	112	115

Les niveaux d'ozone sont élevés, correspondant à ce qui est observé ailleurs dans la région. La valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours par an) a été dépassée 20 fois durant le mois et demi de campagne. Sur l'année, ce seuil est probablement dépassé entre 50 et 75 fois, soit 2 à 3 fois le nombre maximal de dépassements du seuil toléré par la norme.

L'été 2005 a été peu propice à la pollution par l'ozone, en raison d'une météo ventée et instable en particulier durant la période de la campagne (juillet – août). Le Var a été relativement épargné par les pics de pollution à l'ozone. La procédure de recommandation pour l'ozone n'a été déclenchée que 3 jours en 2005, tous avant la campagne de mesure. Les données manquent donc pour évaluer le comportement de l'ozone sur Signes au moment des pointes de pollution sur le département (maximum atteints par rapport aux autres stations, nombre d'heures de dépassement des seuils...).

Les concentrations d'ozone étaient cependant suffisamment élevées durant la campagne de mesure pour constater que les niveaux sont similaires à ceux des stations les plus proches (Brignoles, Plan d'Aups) et qu'ils évoluent en même temps au cours d'un épisode (coefficient de corrélation $R=0.9$ entre les données de Signes et celles de Brignoles, cf. Figure 3 ci-dessous).

Figure 3 : corrélation des mesures d'ozone entre Signes et Brignoles



Si la procédure de recommandation n'a pas été déclenchée sur le Var durant la campagne de mesure, le seuil de recommandation ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a cependant été atteint une fois le 12 juillet sur Signes (cf. Exemple d'épisode de pollution : pic d'ozone le 12 juillet 2005, page 11).

3.6. EXEMPLE D'ÉPISODE DE POLLUTION : PIC D'OZONE LE 12 JUILLET 2005

Le temps du 12 juillet 2005 était ensoleillé, chaud, avec un mélange de brises et d'une fin de Mistral. Ces conditions météorologiques ont permis la création sur les Bouches-du-Rhône d'une masse d'air chargée en ozone à partir des polluants émis sur l'Étang de Berre et l'agglomération marseillaise. Le niveau de fond en polluants était toutefois trop faible après plusieurs jours de Mistral pour que le seuil de recommandation ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) soit franchi sur les stations de mesure de la zone.

Les brises composées, d'ouest, ont déplacé cette masse d'air polluée vers le Var, jusqu'en fin d'après-midi. Vers 18h (16h TU), un vent d'est-nord-est venu des Alpes est descendu sur le Var, rencontrant les brises d'ouest selon un front nord-sud qui s'est déplacé vers l'ouest progressivement (cf. Figure 5 ci-dessous). Entre 19 et 20h (17-18h TU), ce front se situait sur le massif de la Sainte Baume, coinçant la masse d'air polluée dans une poche sans vent. Cette dernière a stagné pendant une heure ou deux, se concentrant et provoquant localement un dépassement du seuil de recommandation pour l'ozone ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) sur Signes. Les stations alentours ont également enregistré une augmentation des niveaux d'ozone, sans toutefois dépasser le seuil.

Figure 4 : évolution des niveaux d'ozone le 12 juillet 2005 entre les Bouches du-Rhône et le Var

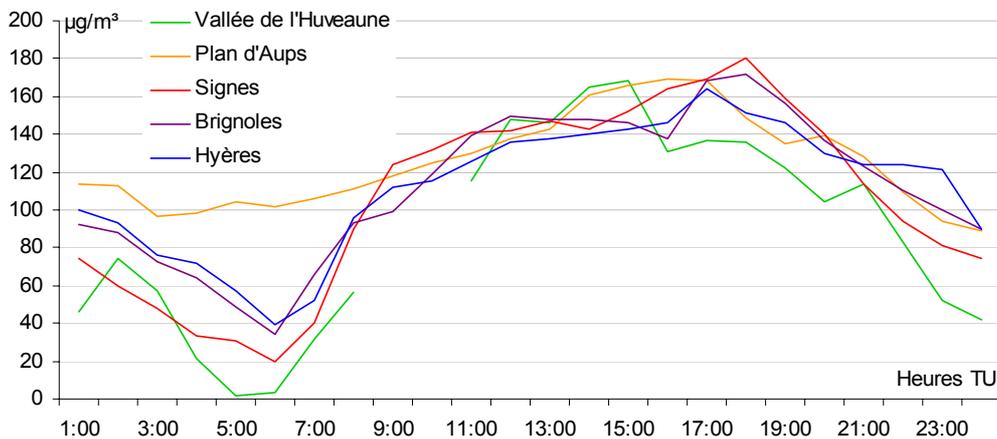
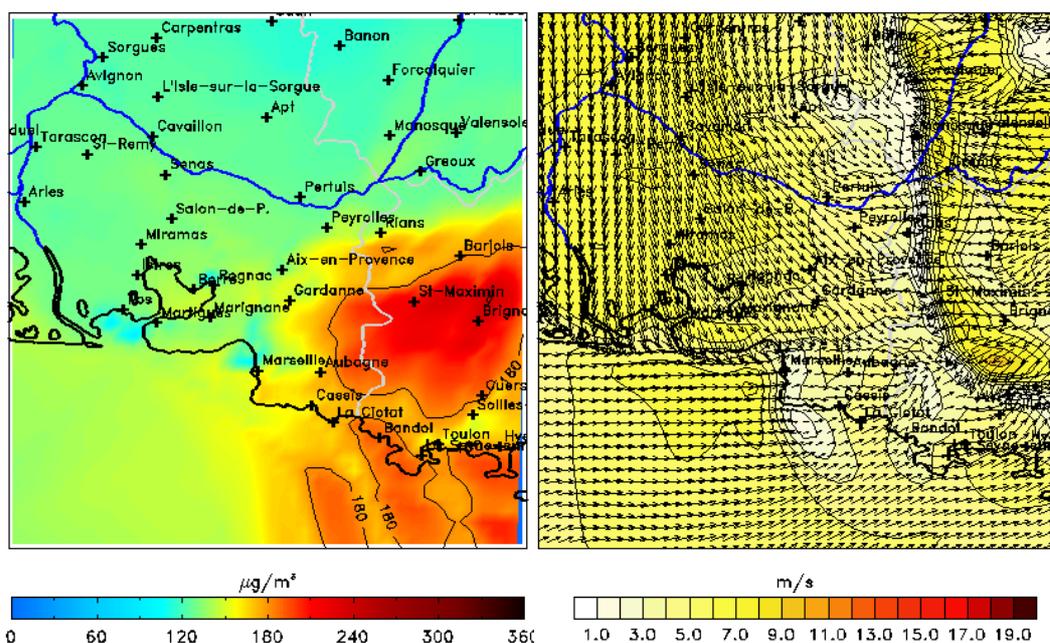


Figure 5 : cartes de modélisation des maximums d'ozone du jour (à gauche) et du vent à 17h TU (à droite)

Note : les valeurs d'ozone figurant dans la carte ci-contre ont été surestimées par le modèle. Cette carte donne cependant une idée relativement précise de la zone touchée par la masse d'air polluée ce jour-là.



4. CONCLUSION

Les niveaux de pollution primaires (PM₁₀, NO₂, CO, SO₂) sont faibles, proches de ceux d'une zone rurale avec des émissions polluantes faibles. Les seuils réglementaires sont largement respectés :

- PM₁₀ : Moyenne annuelle estimée : **18** µg/m³ Valeur limite annuelle : **40** µg/m³
- NO₂ : Moyenne annuelle estimée : **7** µg/m³ Valeur limite annuelle : **40** µg/m³
- CO : Maximum horaire mesuré : **0.9** µg/m³ Valeur limite sur 8h : **10** µg/m³
- SO₂ : Moyenne annuelle estimée : **1** µg/m³ Objectif de qualité annuel : **50** µg/m³

La pollution par l'ozone mesurée à Signes est caractéristique de la partie ouest du Var : le niveau de fond en ozone est élevé en été avec une valeur guide pour la protection de la santé (120 µg/m³ sur 8 heures) dépassée 2 à 3 fois plus que ce que la norme ne l'admet (maximum 25 jours de dépassements par an pour la norme, entre 50 et 75 jours de dépassements observés sur les stations de mesure de la zone).

Cette zone est soumise chaque année à 7 jours en moyenne de déclenchement de la procédure de recommandation pour l'ozone. En 2003, année exceptionnelle, ce chiffre est monté à 30 jours. Ces épisodes ont lieu par temps chaud et ensoleillé, lorsque les vents sont d'ouest modérés et poussent les masses d'air polluées en provenance des Bouches-du-Rhône sur le Var.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

Tableau 1 : évaluation des niveaux de PM ₁₀	5
Tableau 2 : évaluation des niveaux de NO ₂	6
Tableau 3 : évaluation des niveaux de CO.....	7
Tableau 4 : évaluation des niveaux de SO ₂	8
Tableau 5 : évaluation des niveaux d'O ₃	9

Figures

Figure 1 : localisation de la campagne par rapport aux principaux mouvements de masses d'air polluées.....	3
Figure 2 : rose des vents mesurés par le laboratoire mobile durant la campagne.....	4
Figure 3 : corrélation des mesures d'ozone entre Signes et Brignoles.....	10
Figure 4 : évolution des niveaux d'ozone le 12 juillet 2005 entre les Bouches du-Rhône et le Var.....	11
Figure 5 : cartes de modélisation des maximums d'ozone du jour (à gauche) et du vent à 17h TU (à droite) ..	11