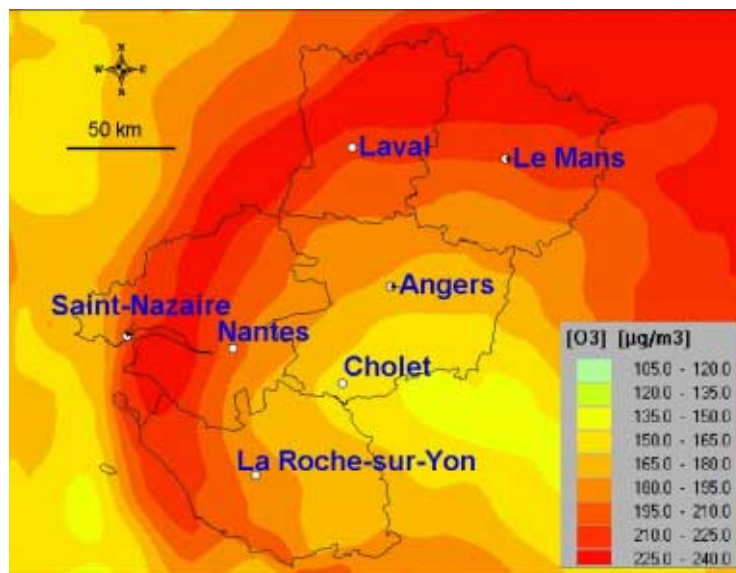


# Modélisation de l'ozone pendant la canicule de l'été 2003

Validation du modèle SAMAA pendant une période de forte pollution

décembre 2004



## SOMMAIRE

<i>SYNTHÈSE : un épisode de forte pollution correctement reconstitué</i>	3
1. INTRODUCTION	6
2. L'ÉPISODE D'OZONE DE L'ÉTÉ 2003	7
3. LA ZONE D'ÉTUDE	10
4. LES DONNÉES D'INVENTAIRE	12
4.1 – Le trafic routier	13
4.2 – Les industries	13
4.3 – Le chauffage résidentiel et tertiaire	14
4.4 – Limites des données d'inventaire	14
5. LA REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES ÉMISSIONS	15
5.1 – Huit bilans d'émission cartographiés	16
5.2 – Comparaison de l'inventaire de l'été 2003 avec les données du CITEPA	19
6. ACCORD MESURE – MODELES ET VALIDATION DE SAMAA	21
6.1 – Les sites de mesure : un dispositif avec large couverture géographique	22
6.2 – Une approche objective	24
6.3 – SAMAA validé pour la modélisation de forte pollution en ozone	25
6.4 – Des cartographies pour l'aide à la compréhension des phénomènes de pollution	27
7. ÉVALUATION DE L'APPORT EN OZONE EXTERIEUR A LA REGION	30
CONCLUSION ET PROLONGEMENTS	32
ANNEXES	33
BIBLIOGRAPHIE	40

## CONTRIBUTIONS

ETUDES :	
Rédaction - cartographies	<b>Arnaud REBOURS</b>
LECTURE - VALIDATION	<b>Luc LAVRILLEUX</b>

## CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Pays de la Loire est l'association agréée pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des Pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2004 pris par le ministère de l'Écologie et du développement Durable.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études qu'elle produit selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org), etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

# SYNTHÈSE : un épisode de forte pollution correctement reconstitué

## [Contexte]

### Aout 2003 : des pics d'ozone exceptionnels

Durant la première quinzaine d'août 2003, un épisode majeur de pollution par l'ozone a été observé dans les Pays de la Loire mais également à l'échelle de la France et de l'Europe. Jamais depuis la création du dispositif de mesure, des niveaux aussi élevés n'avaient été enregistrés.

En raison de l'ampleur de l'épisode, il a été décidé de l'étudier avec le système de modélisation SAMAA sur la période du 2 au 13 août 2003 à l'échelle des Pays de la Loire. Ce modèle permet de produire de l'information sur la pollution là où les techniques de mesure ne sont pas déployées par la production de cartographies sur des zones étendues.

## [Objectifs]

### Reproduire l'épisode pour mieux comprendre les phénomènes

Les objectifs de l'étude étaient :

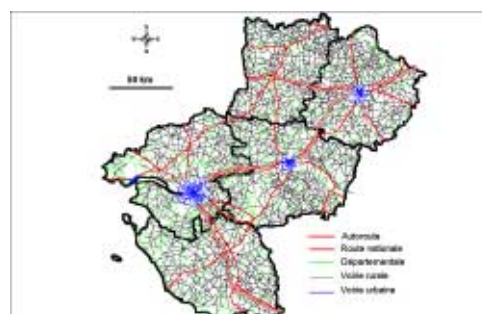
- ❑ consolider notre base de données d'émissions, information primaire pour les outils de modélisation comme SAMAA, en la comparant avec celle découlant des travaux du CITEPA,
- ❑ d'éprouver le modèle SAMAA dans sa nouvelle version utilisant la prise en compte détaillée de l'import d'ozone, en le comparant avec les données d'observation et avec le système national de prévision PREV'AIR,
- ❑ de cartographier l'ozone avec un pas de temps horaire sur la durée de l'épisode,
- ❑ d'évaluer l'apport extérieur en pollution à la région,

## [Moyens]

### Des milliers d'informations centralisées

On retiendra que plus de 5 000 voies de circulation et les sites industriels importants ont été inventoriés. En particulier, les voiries rurales ont été prises en compte, ce qui constitue une amélioration importante par rapport aux précédentes études réalisées avec SAMAA. Le chauffage résidentiel et tertiaire a également été intégré dans l'étude. L'analyse de cet inventaire fait apparaître également quelques limites : les informations sur les établissements industriels moins importants n'ont pas été obtenues et certains secteurs n'ont pas été traités comme les émissions en provenance de la végétation ou le trafic aérien.

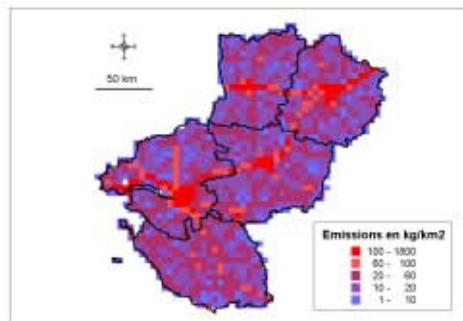
Les routes modélisées (source : CETE de l'Ouest)



**[Résultat 1]****Une estimation de la répartition des émissions pour mieux comprendre les phénomènes**

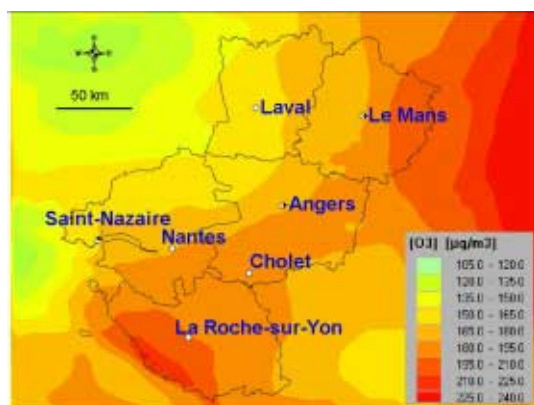
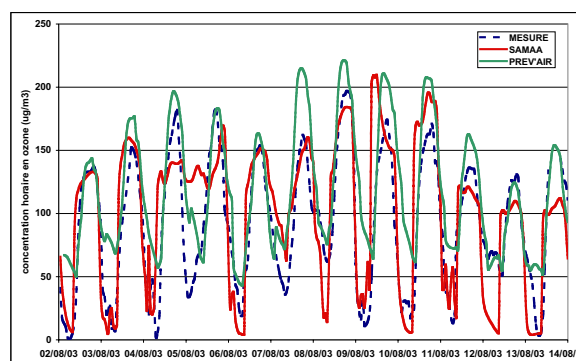
La répartition géographique des émissions a été calculée pour 2 secteurs : le trafic routier et les industries. Bilan spatial des émissions en oxydes d'azote émis par le trafic routier du 2 au 13 août 2003

Ces cartes confirment que le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote, précurseurs de l'ozone sont des composés majoritaires émis par le trafic routier avec des valeurs d'émission maximales de quelques centaines de kilogramme par kilomètre carré entre le 2 et le 13 août 2003. Ces émissions sont principalement réparties dans les agglomérations et sur les voies de circulation qui les relient. Les bilans spatiaux pour les rejets industriels font apparaître des zones d'émission importantes en Basse Loire et dans les principales villes.

**[Résultat 2]****Le modèle SAMAA reproduit correctement l'épisode de pollution**

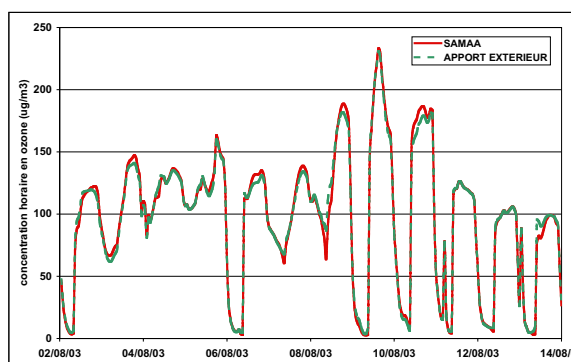
Une comparaison objective utilisant des scores statistiques a été réalisée entre les données de modèle et les observations d'ozone aux sites de mesure. Cette comparaison montre que l'écart entre ces deux approches est indépendant de la zone géographique. La réponse du modèle SAMAA, utilisé à Air Pays de la Loire est tout à fait satisfaisante avec un coefficient de corrélation moyen proche de 0,7. Le modèle, dans sa nouvelle version incluant la prise en compte détaillée de l'import d'ozone, est validé pour simuler cet indicateur en période de forte pollution.

Les cartes d'ozone montrent que la dynamique de l'épisode est bien reproduite durant la canicule avec les premiers pics de pollution dans l'est des Pays de la Loire à partir du 4 août puis une généralisation de la pollution le 8 août et enfin une diminution des concentrations en ozone à partir du 11 août.

Situation le 8 août 2003 à 16 heuresAccord mesure modèles sur le site de mesure de Cholet

**[Résultat 3]****Un apport massif d'ozone extérieur à la région**Visualisation de l'apport d'ozone en périphérie de Nantes

L'apport extérieur en ozone sur les Pays de la Loire pendant l'épisode d'août 2003 a été évalué de manière rigoureuse et précise. Selon nos estimations, cet apport représenterait plus de 90 % des concentrations mesurées, sans distinction géographique, même dans les zones soumises à des fortes émissions de précurseurs comme en périphérie de Nantes (cf. ci-contre).

**[Conclusions et prolongements]****Réaliser des cartographies annuelles de qualité de l'air**

L'échelle temporelle reproduite par le simulateur SAMAA ou le système national PREV'AIR est le pas de temps horaire ou journalier. Cette échelle est celle adaptée à la description de la dynamique ou à la prévision d'un épisode de pollution. Des réalisations de cartographies à l'échelle de la saison et de l'année doivent être envisagées à une fréquence annuelle. Cette application cartographique concerne des calculs réalisés à posteriori pour la fourniture de bilans utilisables en tant que produit de communication pour les bulletins mensuels ou les rapports annuels d'Air Pays de la Loire. Les résultats envisagés dans ce cadre sont des cartes de moyennes annuelles, de maxima, de nombre de jours ou d'heures de franchissement d'un seuil donné afin de spatialiser la charge polluante à laquelle sont soumises les différentes zones de la région (selon typiquement un maillage de 5 km). Des exemples sont donnés ci-dessous :

- ❑ Carte régionale du nombre de jours de dépassement du seuil d'information de la population pour l'ozone
- ❑ Carte régionale du nombre d'occurrences de dépassement de la moyenne glissante sur 8 heures pour l'ozone
- ❑ Carte régionale de la répartition de la pollution au dioxyde d'azote vis à vis des seuils d'évaluation des Directives.

En mode prévision, une première expérimentation d'une plateforme d'estimation de la pollution à courte échéance (le lendemain ou le surlendemain) a été réalisée à Air Pays de la Loire durant l'été 2004. Cette plateforme de prévision à haute résolution spatiale incorpore les émissions calculées par SAMAA. Les premiers résultats de scores indiquent une meilleure performance que PREV'AIR pour le dioxyde d'azote et une performance comparable en ce qui concerne l'ozone. Cette plateforme a été utilisée pour la prévision des niveaux d'alerte au niveau de la région des Pays de la Loire pendant la période estivale 2004. Son installation pérenne à Air Pays de la Loire est en projet pour 2005 afin d'augmenter le niveau d'expertise interne en matière de prévision de l'ozone et du dioxyde d'azote.

# 1. INTRODUCTION

Durant la première quinzaine d'août 2003, un épisode majeur de pollution par l'ozone a été observé dans les Pays de la Loire mais également à l'échelle de la France. Jamais depuis la création du dispositif de mesure, des niveaux aussi élevés n'avaient été enregistrés. Cet épisode a fait l'objet d'une étude approfondie publiée dans le rapport<sup>1</sup> intitulé "Août 2003 : des pics d'ozone exceptionnels".

D'autre part, Air Pays de la Loire dispose d'un système de modélisation SAMAA, utile pour donner l'information sur la pollution là où les techniques de mesure ne sont pas déployées par la production de cartographies sur des zones étendues. L'apport de la modélisation est donc particulièrement pertinent dans le cas de l'ozone pour lequel les concentrations en secteur rural sont souvent supérieures aux teneurs dans les agglomérations.

L'utilisation des moyens de modélisation est un axe important de développement à Air Pays de la Loire comme en témoignent plusieurs études entreprises avec SAMAA depuis 2001: Qualité de l'air dans l'agglomération nantaise à l'horizon 2010, impact de la fonderie Bouhyer à Ancenis, cartographie du dioxyde d'azote dans l'agglomération angevine, reconstitution des épisodes de pollution de février 2003 autour de la raffinerie de Donges.

En raison de l'ampleur de l'épisode d'ozone de l'été 2003, il a été décidé de modéliser ces pics de pollution à l'échelle des Pays de la Loire sur la période du 2 au 13 août 2003. Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

- ❑ consolider notre base de données d'émissions, information primaire pour les outils de modélisation comme SAMAA, en la comparant avec celle découlant des travaux du CITEPA,
- ❑ éprouver le modèle SAMAA dans sa nouvelle version utilisant la prise en compte détaillée de l'import d'ozone, en le comparant avec les données d'observation et avec le système national de prévision PREV'AIR,
- ❑ cartographier l'ozone avec un pas de temps horaire sur la durée de l'épisode,
- ❑ évaluer l'apport extérieur en pollution à la région.

La description des systèmes de simulation SAMAA et PREV'AIR est reportée en annexe 1.

---

<sup>1</sup> Cette étude est disponible soit simplement sur demande soit par téléchargement sur le site internet d'Air Pays de la Loire [www.airpl.org](http://www.airpl.org) dans la rubrique « Publications – articles ».

## **2. L'EPISODE D'OZONE DE L'ETE 2003**

---

Début août 2003, Air Pays de la Loire a enregistré sur plusieurs de ses capteurs, des taux d'ozone supérieurs à  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une heure. Jamais depuis la création du dispositif de mesure, des niveaux si élevés n'avaient été observés en Pays de la Loire. En 15 jours, plus de 30 procédures d'information du public ont été mises en œuvre sur les 7 agglomérations surveillées. Cette situation est liée à la combinaison de la situation météorologique exceptionnelle qui a régné en ce début août avec les émissions polluantes en provenance des grandes zones émettrices (bassin de la Ruhr, plaine du Pô, agglomération parisienne).

### ***Un épisode de pollution record par l'ampleur des concentrations mesurées***

Les années passées, les niveaux maximaux d'ozone n'avaient que très rarement dépassé le seuil d'information de la population ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et la valeur de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une heure n'avait été franchie qu'à deux reprises respectivement à Nantes durant l'été 1995 ( $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et au Mans durant l'été 1998 ( $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En ce début de mois d'août, les maxima ont largement dépassé les  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et approché le futur seuil d'alerte ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 3 heures consécutives). Globalement, les maxima de début août sont près de 35 % supérieurs à ceux mesurés les années précédentes.

### ***Un épisode de pollution exceptionnel par sa durée***

Les épisodes antérieurs de pollution par l'ozone étaient de nature ponctuelle durant un à deux jours. Or, au mois d'août 2003, l'épisode de pollution a duré près de quinze jours. Il s'est déroulé en trois périodes :

- Une hausse de la pollution à partir du 1er août : Les niveaux de pollution ont augmenté à partir du 1er août pour dépasser le seuil d'information à partir du 4. Une légère baisse des niveaux est survenue le 7 août, suivie d'une seconde hausse des concentrations le 8 août.
- Des niveaux très élevés les 8, 9 et 10 août : Durant ces trois jours, la pollution a atteint des niveaux encore jamais mesurés dans la région ; les niveaux de pointe approchant le futur seuil d'alerte et les niveaux moyens en journée dépassant les  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Une baisse de la pollution à partir du 11 août : Sur la façade Ouest (Nantes, St-Nazaire, la Roche sur Yon) les niveaux diminuent à partir du 11 août tandis que cette baisse est retardée d'une journée dans l'Est de la région (Laval, Le Mans).

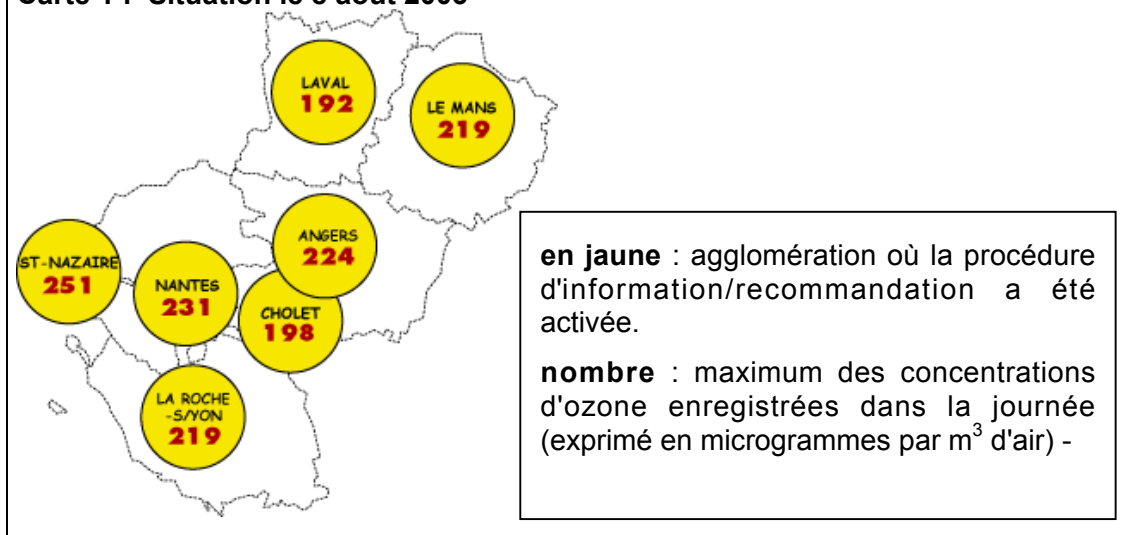
### ***Un épisode généralisé sur l'ensemble de la région***

En plus des niveaux atteints et de leur persistance, cet épisode est également exceptionnel par son ampleur géographique. En effet, l'ensemble de la région a été concerné par ces fortes concentrations.

### ***De nombreuses procédures d'information du public mises en œuvre***

Tous les jours du 4 au 11 août, une information du public a été effectuée pour les agglomérations concernées. En particulier, le vendredi 8 août, des procédures d'information ont été déclenchées dans les 7 principales agglomérations de la région (cf. carte 1)



**Carte 1 : Situation le 8 août 2003**

Au total durant cette première quinzaine d'août, Air Pays de la Loire a mis en œuvre :

- 9 jours dont 8 jours consécutifs de déclenchement de procédures d'informations sur au moins une agglomération,
- la diffusion de plus de 60 communiqués par fax et e-mail en temps réel à plus d'une centaine de destinataires relais (presse, services publics, collectivités...),
- une mise à jour en temps réel du site [www.airpl.org](http://www.airpl.org) par la diffusion toutes les heures des données de pollution,
- la réalisation d'un bilan notamment par la cartographie des niveaux de pollution diffusée sur [www.airpl.org](http://www.airpl.org).

### ***Un épisode lié à des conditions météorologiques exceptionnelles***

La situation synoptique, c'est-à-dire à grande échelle, de ce début août est caractérisée par un puissant anticyclone avec de fortes pressions en altitude et en surface. Ces éléments ont favorisé la remontée d'une masse d'air chaud et sec qui a enveloppé le pays de manière durable dès le 5 août 2003. Jamais un événement caniculaire d'une telle acuité n'avait été relevé en France depuis le début des observations météorologiques [1].

Tout au long de cette période, la France connaît des températures sous abri exceptionnelles tant au niveau des températures maximales en cours de journée qu'au niveau des températures nocturnes (plus de 40°C ont été enregistrés le 6 août au Mans et l'ensoleillement important a persisté jusqu'au 13 août). L'atmosphère extrêmement stable (longues situations de haute pression sur l'Europe de l'Ouest), des vents souvent faibles, le maintien de températures nocturnes élevées, ainsi que le fort ensoleillement et une très faible couverture nuageuse ont contribué d'une part à une forte activité photochimique génératrice d'ozone et d'autre part à la persistance de niveaux élevés de précurseurs dans l'atmosphère et à l'accumulation de l'ozone formé [2].

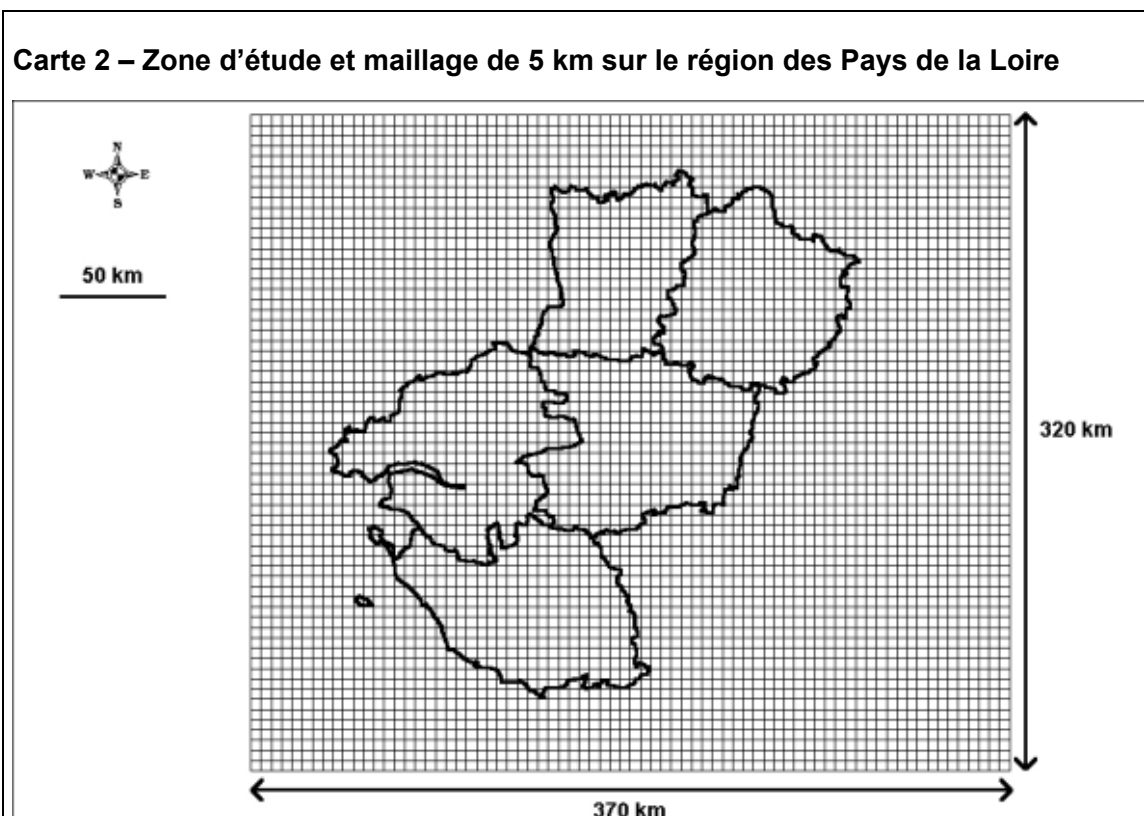
---

## **3. LA ZONE D'ETUDE**

---

Le domaine d'étude, centré sur les Pays de la Loire, couvre un rectangle de 370 kilomètres dans le sens ouest-est sur 320 kilomètres dans le sens sud-nord. Le domaine est découpé en plus de 4 700 mailles de 5 km de côté.

A l'origine utilisé essentiellement sur la Loire-Atlantique, le domaine d'étude de SAMAA a été étendu pour les besoins de l'étude sur l'ensemble de la région des Pays de la Loire. Le domaine est constitué d'un maillage de 5 km de côté constituant un rectangle de 370 km sur 320 km (soient 74 x 64 mailles). Le maillage de 5 km est un compromis entre une échelle locale de quelques centaines de mètres et une échelle continentale de 50 km (exemple de PREV'AIR), et autorise des temps de calcul raisonnables (une quinzaine d'heures pour le module de photochimie pour reproduire 6 jours réels).



## 4. LES DONNEES D'INVENTAIRE

---

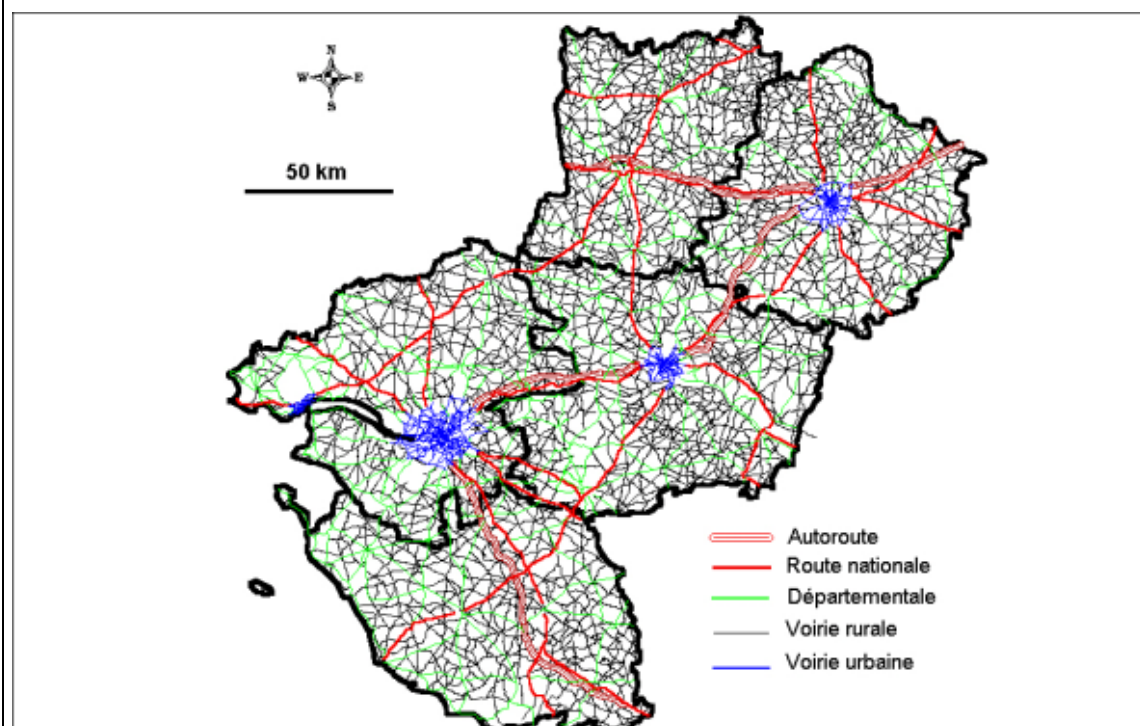
On retiendra que plus de 5 000 voies de circulation et les sites industriels importants ont été inventoriés. Le chauffage résidentiel et tertiaire a également été intégré dans l'étude.

L'analyse de cet inventaire fait apparaître également quelques limites : les informations sur les établissements industriels moins importants n'ont pas été intégrées en raison de lacunes dans les données disponibles et certains secteurs n'ont pas été traités comme les émissions en provenance de la végétation ou le trafic aérien. À titre d'exemple, les 75 établissements les plus importants en termes d'émissions de COV ne représentent que 34 % des émissions industrielles.

## 4.1 – Le trafic routier

Les données de trafic proviennent des sorties du modèle de trafic DAVIS pour le milieu urbain (Saint-Nazaire, Nantes, Angers et Le Mans) et de comptages routiers pour les autres axes de circulation. L'ensemble de ces informations a été fourni par le CETE de l'Ouest (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement). Le réseau routier modélisé (cf. carte 3) est caractérisé par environ 5300 brins de circulation.

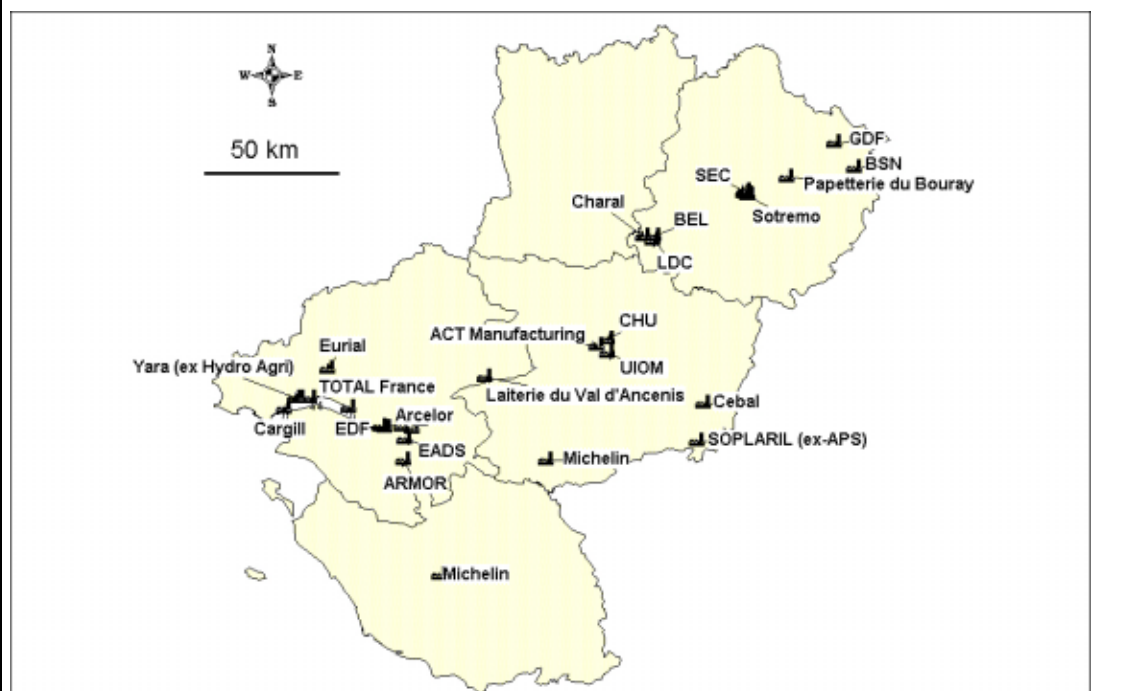
Carte 3 – Localisation du réseau routier modélisé



## 4.2 – Les industries

Les caractéristiques des données industrielles ont été obtenues via des questionnaires adressés aux principaux établissements de la région. Ces données ont été mises à jour pour l'année 2002 à partir des bases de données de la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement) des Pays de la Loire.

Ce sont au final 32 établissements qui ont été intégrés l'étude représentant 82 installations différentes. Les principaux établissements répertoriés sont présentés dans la carte 4 (pour des raisons de lisibilité, certains établissements moins importants n'apparaissent pas).

**Carte 4 – Localisation des principaux établissements industriels****4.3 – Le chauffage résidentiel et tertiaire**

Le secteur du chauffage résidentiel a été directement traité par SAMAA à partir des caractéristiques des logements fournies par l'INSEE en 1999 sur des unités surfaciques de base (IRIS : quartier d'environ 2000 habitants).

Le secteur du chauffage tertiaire a été traité en récupérant les données CITEPA de 1999 [3] sur les unités administratives (unités urbaines ou arrondissements). Avant de les intégrer dans SAMAA, ces informations ont été projetées sur le tissu urbain de l'occupation des sols CORINE LAND COVER de l'IFEN.

En terme d'émissions pendant la période simulée (du 2 au 13 août 2003), l'impact de ces deux secteurs est quasiment nul en raison des températures très élevées observées et ne doit concerner, en ce qui concerne le secteur résidentiel, que le chauffage de l'eau sanitaire.

**4.4 – Limites des données d'inventaire**

La récupération des données d'inventaire décrite ci-dessus fait apparaître les limites suivantes :

- ❑ L'intégration des données industrielles n'est pas exhaustive puisqu'elle ne concerne que les établissements de la région dont le rejets sont importants (en général, ceux soumis à la Taxe Générale sur les Activités Polluantes). Les autres établissements devront donc être ultérieurement inventoriés. On peut également citer la société Ciments Lafarge en Mayenne, émetteur important d'oxydes d'azote, dont la réponse au questionnaire n'a pas été obtenue,
- ❑ Faute de données disponibles, certains secteurs n'ont pas été traités : émissions biogéniques ou trafic aérien,
- ❑ Aucune donnée d'inventaire en dehors des Pays de la Loire mais faisant partie du domaine d'étude n'a été intégrée. L'inventaire européen EMEP à 50 km pourra être ultérieurement ajouté.

## 5. LA REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES EMISSIONS

---

Cette répartition géographique a été calculée pour 2 secteurs : le trafic routier et les industries.

Ces cadastres confirment que le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote, précurseurs de l'ozone sont des composés majoritaires émis par le trafic routier avec des valeurs d'émission maximales de quelques centaines de kilogramme par kilomètre carré entre le 2 et le 13 août 2003. Ces émissions sont principalement réparties dans les agglomérations et sur les voies de circulation qui les relient.

Les cadastres pour les rejets industriels font apparaître des zones d'émission importantes en Basse-Loire et dans les principales villes.

## 5.1 – Huit bilans d'émission cartographiés

La répartition géographique, qualitative et quantitative des émissions (cadastre) est réalisée à l'aide d'AIREMIS, le module de calcul des émissions de SAMAA (cf. annexe 1). Huit cadastres sont présentés ici : quatre pour le secteur du trafic routier (NOx, CO, SO2 et particules) et quatre pour le secteur industriel (SO2, NOx, COV et particules). Les NOx, les COV et le CO sont des précurseurs majeurs de la réaction qui produit l'ozone. Les cadastres représentent la répartition géographique des émissions cumulées entre le 2 et le 13 août 2003 sur les Pays de la Loire. Une résolution de 5 km a été choisie à l'exemple de celle adoptée pour la modélisation des concentrations d'ozone. A noter que le bilan spatial des COV pour le trafic routier pourra être réalisé dès la prochaine version de SAMAA.

Les bases de données d'émissions pour le trafic routier sont présentés dans les cartes 5 à 8. Ces cartes font apparaître clairement que le CO puis les NOx sont des composés majoritaires émis par ce secteur avec des émissions maximales cumulées sur 12 jours de quelques centaines de kilogrammes par kilomètre carré. Les rejets en SO2 ou particules sont beaucoup plus faibles avec des émissions ponctuelles de quelques dizaines de kilogramme par kilomètre carré sur la période étudiée. Les émissions des principales agglomérations avec un réseau important de rues ou bien celles des liaisons interurbaines avec forte circulation (autoroutes, notamment) apparaissent clairement sur les cartes.

Les bilans spatiaux pour les industries sont reportés sur les cartes 9 à 12. Une échelle différente a été adoptée pour prendre en compte le caractère ponctuel et important des rejets. Les noms des établissements contributeurs les plus élevés y sont présentés. Ces cadastres doivent être examinées à la lumière des réserves reportées dans le point 4.4 puisque certaines données sont incomplètes. Ces cartes font toutefois apparaître des zones d'émission importantes en Basse-Loire ainsi que dans les principales agglomérations. Les principaux rejets concernent le SO2 et les NOx et dans une moindre mesure les COV. Ceux-ci ont la particularité d'être rejetés par un plus grand nombre de sources par rapport à la plupart des polluants considérés dans les inventaires. Ces sources sont en effet dispersées dans de nombreux secteurs d'activité [5].

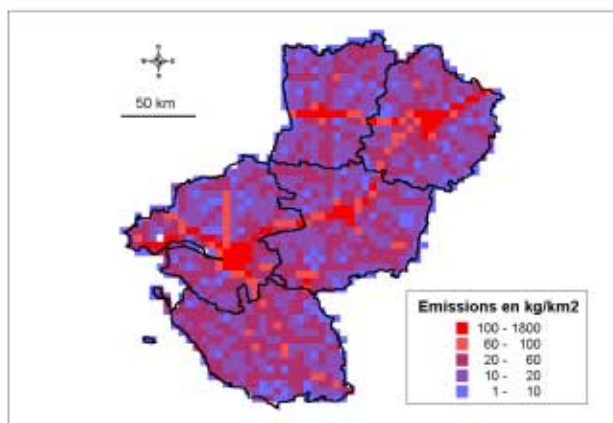
Les bilans spatiaux d'émissions se révèlent être des outils essentiels tant pour l'évaluation et la surveillance que pour la gestion de la qualité de l'air. A titre d'exemples :

- ❑ Le calcul des émissions permet de fournir les données primaires pour les outils de modélisation déterministe comme cela est pratiqué depuis 2001 à Air Pays de la Loire avec la mise en œuvre de SAMAA.
- ❑ Le calcul des émissions peut être utilisé pour mettre en œuvre des outils de géostatistiques pour la spatialisation des concentrations dans l'environnement ; les émissions sont alors intégrées comme variables auxiliaires nécessaires pour l'obtention d'une cartographie réaliste de la qualité de l'air sur un espace non homogène relativement aux rejets atmosphériques.
- ❑ Le bilan spatial des émissions peut être utilisé afin de fournir des éléments de décision pour l'optimisation du réseau de stations fixes de surveillance de la pollution atmosphérique.
- ❑ L'inventaire des émissions constitue un élément complémentaire de réponse pour la caractérisation de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire, et en particulier sur les zones non couvertes par de la mesure ou des outils de modélisation. Il constitue donc une des réponses à la Loi sur l'Air du 30 décembre 1996 qui exige de pouvoir disposer d'une information sur la qualité de l'air en tout point du territoire. En particulier, les inventaires sont en Europe utilisés pour l'approche par estimation objective en exploitant la répartition géographique des émissions et leur corrélation avec les concentrations pour évaluer la pollution dans des zones non couvertes.

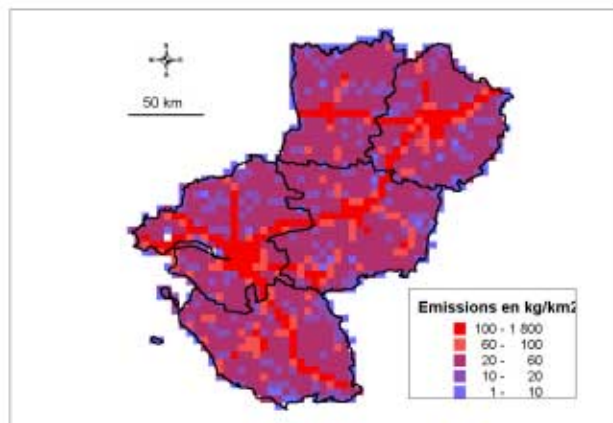


□ **Cartes 5 à 8 : Bilans spatiaux régionaux des émissions du trafic routier entre le 2 et le 13 août 2003**

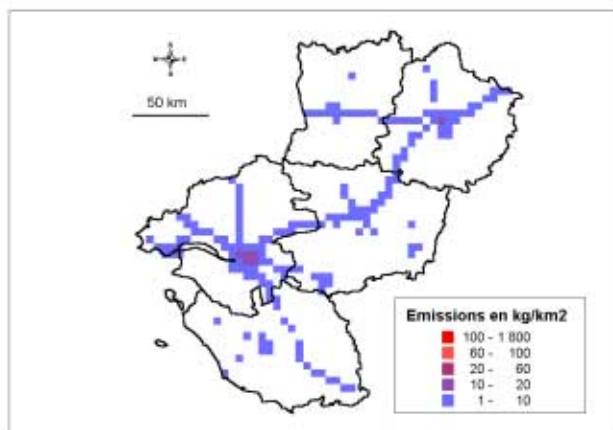
**Carte 5 – Bilan spatial régional de NO<sub>x</sub> émis par le trafic routier entre le 2 et le 13 août 2003**



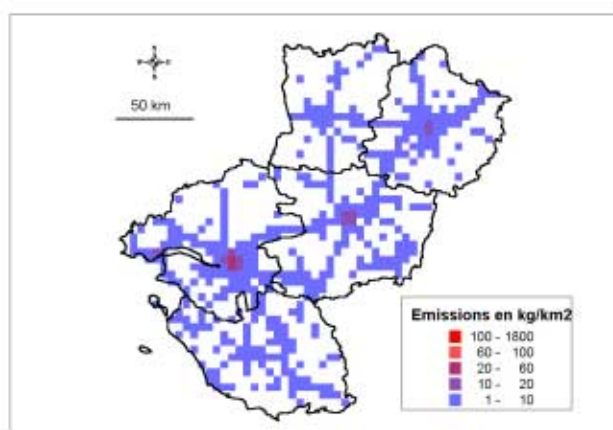
**Carte 6 – Bilan spatial régional de CO émis par le trafic routier entre le 2 et le 13 août 2003**



**Carte 7 – Bilan spatial régional de SO<sub>2</sub> émis par le trafic routier entre le 2 et le 13 août 2003**

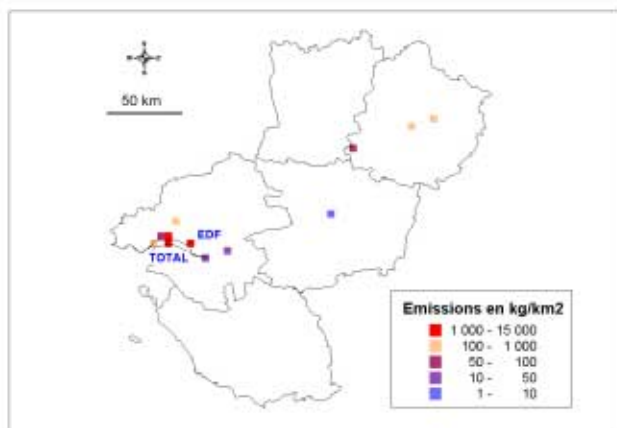


**Carte 8 – Bilan spatial régional de particules émises par le trafic routier entre le 2 et le 13 août 2003**

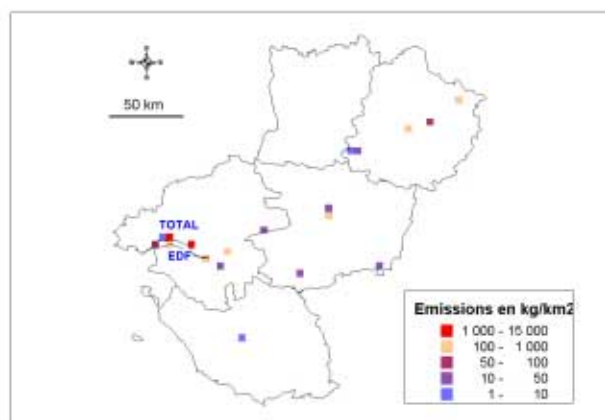


**Cartes 9 à 12 – Bilans spatiaux régionaux des émissions des industries entre le 2 et le 13 août 2003**

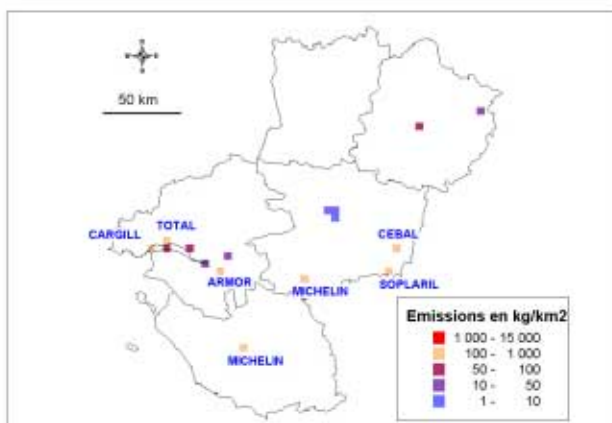
**Carte 9 – Bilan spatial régional de SO<sub>2</sub> émis par les industries entre le 2 et le 13 août 2003**



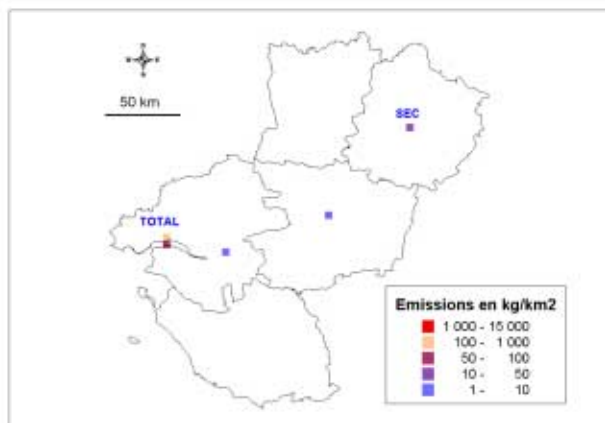
**Carte 10 - Bilan spatial régional de NO<sub>x</sub> émis par les industries entre le 2 et le 13 août 2003**



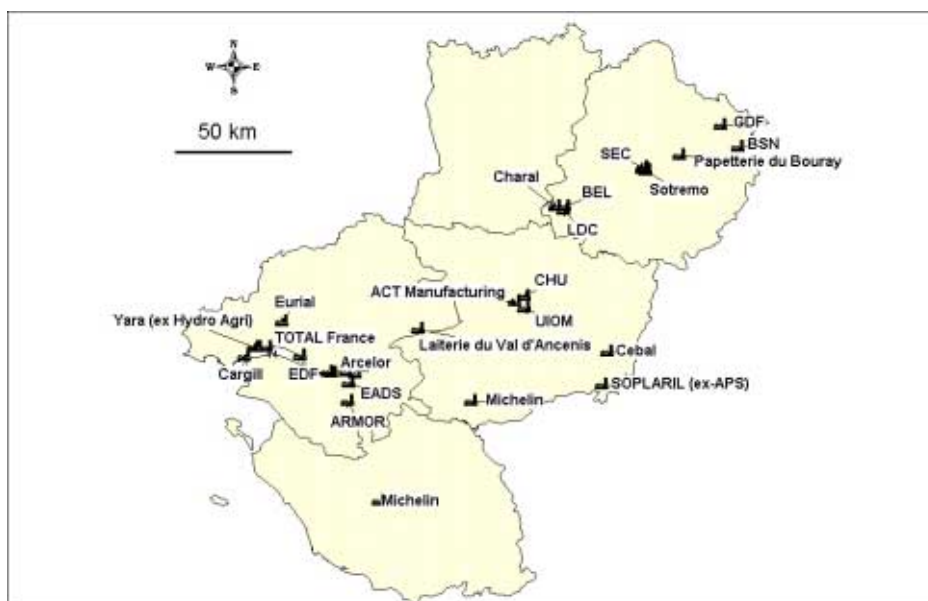
**Carte 11 – Bilan spatial régional de COV émis par les industries entre le 2 et le 13 août 2003**



**Carte 12 – Bilan spatial régional de particules émis par les industries entre le 2 et le 13 août 2003**



**Carte 4 – localisation des industries enquêtées**



## 5.2 – Comparaison de l'inventaire de l'été 2003 avec les données du CITEPA

Le CITEPA est l'organisme national de référence pour la réalisation de travaux sur les émissions atmosphériques. Cet organisme a réalisé pour l'année 1999 un inventaire multi-sectoriel dans les Pays de la Loire [3]. Cet inventaire est comparé avec les résultats de la présente étude.

La solution consiste à cumuler les émissions calculées par SAMAA sur une semaine de la période simulée (du 4 au 11 août 2003) et extrapoler cette valeur hebdomadaire correspondant à un cycle sur les émissions en un résultat annuel appelé " AIREMIS annuel sur la base de l'été 2003 " dans les deux tableaux suivants. Ces tableaux permettent une comparaison rapide de l'évaluation du CITEPA avec nos estimations, respectivement pour le trafic routier puis les industries.

**Tableau 1 – inventaires CITEPA et SAMAA pour le trafic routier (émissions en tonnes)**

Polluant	CITEPA 1999	SAMAA annuel sur la base de l'été 2003	Ecart
CO	161649	68717	-57%
NOx	44879	34204	-24%
PM	3233	1341	-59%
SO2	1444	715	-50%

En ce qui concerne le trafic routier, des écarts de 25 à 60 % sont observés. Ils s'expliquent pour deux raisons principales : d'une part, le trafic routier en été est plus faible et cet effet, accentué début août, est pris en compte par SAMAA et d'autre part, les émissions à froid sont nettement plus faibles en période estivale : à l'aide d'AIREMIS (cf. annexe 1), il est estimé par exemple que les émissions à froid en monoxyde de carbone représentent seulement 2 % des rejets du trafic routier pendant la canicule alors que cette valeur est portée à environ 60 % sur l'année entière (en considérant une température moyenne annuelle de 12 °C). Cette dernière proportion tombe à 11 % pour les oxydes d'azote et l'écart CITEPA-SAMAA se réduit à près de 25 % dans le tableau 1. Nous considérons que l'évaluation des émissions du secteur du trafic routier est bien reproduite par SAMAA.

**Tableau 2 – inventaires CITEPA et SAMAA pour les industries (émissions en tonnes)**

Polluant	CITEPA 1999	SAMAA annuel sur la base de l'été 2003	Ecart
NOx	35123	14080	-60%
COVNM	38698	1845	-95%
PM	40381	501	-99%
SO2	29057	12387	-57%

Cet écart entre les deux inventaires est nettement plus élevé pour le secteur industriel. Trois principales explications sont avancées : 1/ L'évaluation du CITEPA porte sur l'année 1999 alors que l'inventaire SAMAA est basé sur 2002. Entre ces deux années, des actions importantes de réduction des rejets, actions prises à la demande de la DRIRE des Pays de la Loire [6], ont été menées. Par exemple, la mise en place d'une installation de désulfuration à la centrale thermique EDF de Cordemais début 2000 a entraîné une diminution des émissions de dioxyde de soufre de près de 60 % entre 1999 et 2002 (la part d'EDF en 1999 sur les émissions totales du secteur industriel étant de 63 % [3]). 2/ Quelques établissements importants ont une fermeture annuelle durant la première quinzaine d'août et n'ont donc pas été pris en compte par SAMAA, la période de simulation étant incluse dans la période de fermeture. On citera les sociétés Téréos (ex Beghin say) à Nantes, Yara à Montoir de Bretagne, Dupont au Mans, BSN à Vibraye et Armor à la Chevrolière (ce dernier étant le premier et le deuxième émetteur ponctuel

régional de composés organiques volatils, respectivement en 1999 et en 2002). 3/ L'écart dans le tableau 2 s'explique également par les limites, mentionnées précédemment, de notre approche de récupération des informations sur les émissions industrielles. L'obtention des données pour les nombreux émetteurs ponctuels minoritaires est ainsi un facteur d'optimisation de notre approche.

## 6. ACCORD MESURE – MODELES ET VALIDATION DE SAMAA

---

Une comparaison objective utilisant des scores statistiques reconnus a été réalisée entre les données de modèle et les observations d'ozone aux sites de mesure.

Cette comparaison montre que l'écart entre ces deux approches est indépendant de la zone géographique. La réponse du modèle SAMAA, utilisé à Air Pays de la Loire est tout à fait satisfaisante. Ce modèle est validé pour simuler l'ozone en période de forte pollution.

Les cartes d'ozone montrent la dynamique de l'épisode durant la canicule avec les premiers pics de pollution dans l'est des Pays de la Loire à partir du 4 août puis une généralisation de la pollution le 8 août et enfin une diminution des concentrations en ozone à partir du 11 août.

Ce chapitre décrit les résultats de l'évaluation du modèle SAMAA pour l'ozone sur la période du 2 au 13 août 2003 à partir d'une comparaison avec les données de stations de mesure. Le système national de modélisation PREV'AIR dont la description est donnée en annexe 1 est également comparé avec les observations.

## 6.1 – Les sites de mesure : un dispositif avec large couverture géographique

En août 2003, 20 stations de mesure surveillent la région des Pays de la Loire. Les caractéristiques de ces stations sont données dans le tableau 3 ci-dessous.

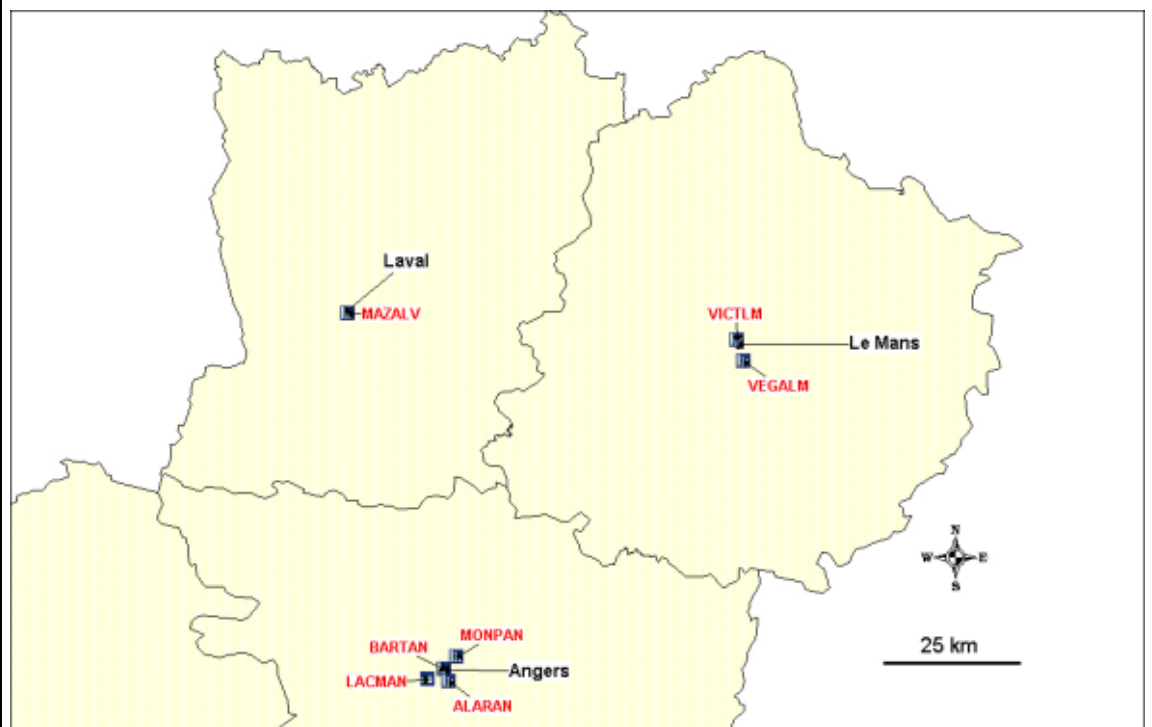
**Tableau 3 – les stations de mesure de l'ozone en août 2003**

NOM COURT	NOM	AGGLOMERATION	TYPOLOGIE
LESSSN	Lesseps	St Nazaire	urbaine
BLUMSN	Léon Blum	St Nazaire	urbaine
EMILPO	Emile Outtier	St Nazaire	périurbaine
JAPLNA	Jardin des Plantes	Nantes	urbaine
CHAUNA	Chauvinière	Nantes	urbaine
GIROSH	Gironde	Nantes	urbaine
JPERRE	Jean Perrin	Nantes	urbaine
CORBSB	Corbières	Nantes	urbaine
RICABU	Ricaud	Nantes	périurbaine
SLUCSL	Ste Luce	Nantes	périurbaine
BARTAN	Beaux Arts	Nantes	urbaine
MONPAN	Monplaisir	Angers	urbaine
ALARAN	Alard	Angers	urbaine
LACMAN	Lac de Maine	Angers	périurbaine
VICTLM	Victor Hugo	Le Mans	urbaine
VEGALM	Vert Galant	Le Mans	urbaine
EXUPCH	St Exupéry	Cholet	urbaine
LAENRO	Laënnec	La Roche sur Yon	urbaine
MAZALV	Mazagran	Laval	urbaine
FOLITA	La Tardière	La Tardière	rurale nationale

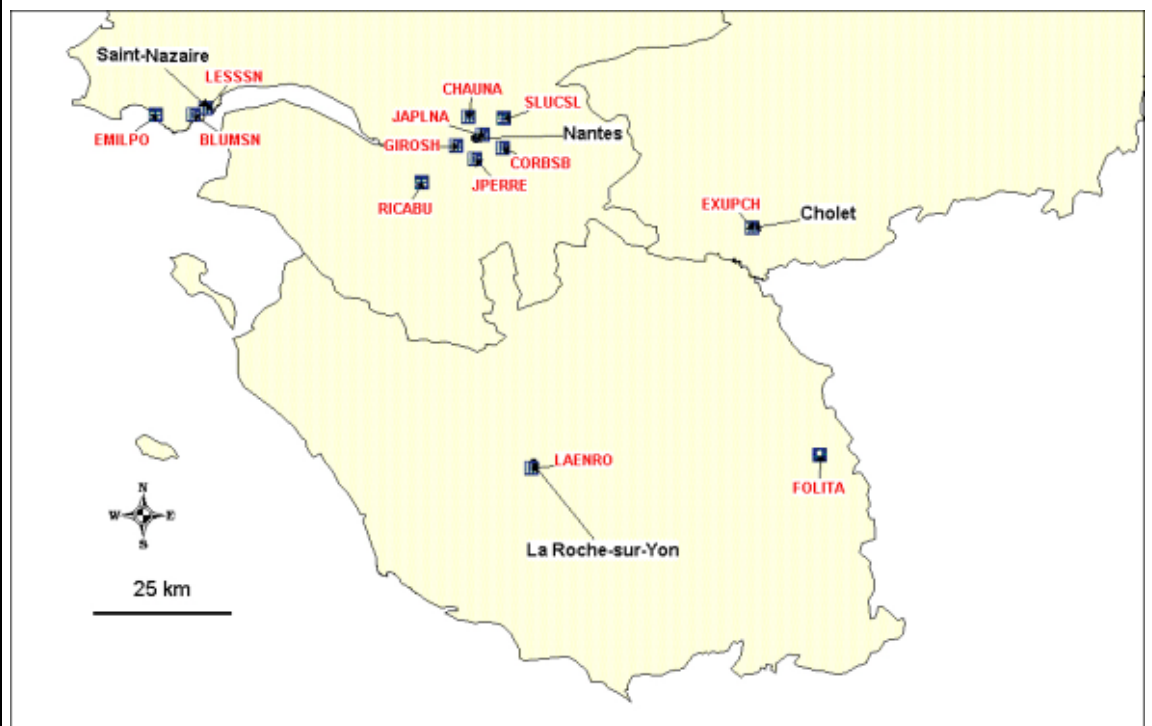
Ces stations sont principalement implantées au cœur des agglomérations (typologie urbaine) mais certaines d'entre elles surveillent leur périphérie (typologie périurbaine). Il existe également une station rurale sur la commune de la Tardière dans l'est de la Vendée.

La localisation géographique de ces sites de mesure de l'ozone est proposée dans les deux cartes 13 et 14 de la page suivante.

**Carte 13 – Sites de mesure de l’ozone dans le nord des Pays de la Loire en août 2003**



**Carte 14 – Sites de mesure de l’ozone dans le sud des Pays de la Loire en août 2003**



## 6.2 – Une approche objective

Afin de disposer d'une information objective lors de la comparaison entre les résultats du modèle SAMAA ou PREV'AIR et les concentrations observées aux stations, trois critères de validation ont été utilisés : le Fractional Bias (FB), le Normalised Mean Square Error (NMSE) [4] et le coefficient de corrélation. Ces critères sont également utilisés sur le site internet d'accueil de la plateforme PREV'AIR (<http://prevair.ineris.fr>)

**Le critère FB est défini comme suit :**

$$FB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(C_i^o - C_i^s)}{0,5(C_i^o + C_i^s)}$$

où N est le nombre total de couples  $(C_i^o, C_i^s)$  avec  $C_i^o$ , concentration observée à l'heure i et  $C_i^s$ , concentration simulée à l'heure i.

FB permet une comparaison rapide du modèle par rapport aux mesures. Il varie entre -2 (très forte sur estimation) et +2 (très forte sous estimation).

**Le NMSE se calcule suivant :**

$$NMSE = \frac{\overline{(C_i^o - C_i^s)^2}}{C_i^o C_i^s}$$

Le NMSE traduit la dispersion globale des données sur l'échantillon considéré. Plus le NMSE est faible, meilleure est la simulation.

**Le coefficient de corrélation se calcule suivant :**

$$r = \frac{\text{cov}(C^o, C^s)}{\sqrt{V(C^o)V(C^s)}}$$

avec  $\text{cov}(C^o, C^s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i^o - \overline{C^o})(C_i^s - \overline{C^s})$  : covariance et  $V(C) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \overline{C})^2$  : variance

Dans notre cas, r doit être positif. Plus r est proche de 1, meilleure est la corrélation entre les observations et les résultats des simulations.



## 6.3 – SAMAA validé pour la modélisation de forte pollution en ozone

Les scores de comparaison entre les deux modèles SAMAA et PREV'AIR, et les données observées aux sites de mesures sont donnés dans le tableau suivant. Concernant le NMSE, les résultats sont donnés pour l'intervalle de la journée situé entre 12 heures et 22 heures, période propice à la formation de l'ozone :

**Tableau 4 – scores des modèles SAMAA et PREV'AIR durant la canicule de l'été 2003**

Station	Agglomération	Typologie	NMSE		Coeff. corrélation		FB	
			SAMAA	PREV'AIR	SAMAA	PREV'AIR	SAMAA	PREV'AIR
LESSSN	St Nazaire	Urbaine	6	3,5	0,71	0,87	0,17	-0,06
BLUMSN	St Nazaire	Urbaine	5,3	7,6	0,74	0,84	-0,1	-0,18
EMILPO	St Nazaire	Périurbaine	10,1	4,1	0,65	0,83	-0,01	-0,12
JAPLNA	Nantes	Urbaine	7,5	2,5	0,8	0,86	0,6	0,11
CHAUNA	Nantes	Urbaine	4,4	4,3	0,66	0,87	0,12	-0,09
GIROSH	Nantes	Urbaine	4,3	3,4	0,65	0,89	0,2	0
JPERRE	Nantes	Urbaine	5,4	3,4	0,68	0,89	0,23	0,04
CORBBS	Nantes	Urbaine	6,4	6,3	0,68	0,77	0,07	-0,18
RICABU	Nantes	Périurbaine	5,3	3,4	0,76	0,87	0,25	-0,06
SLUCSL	Nantes	Périurbaine	4	3,7	0,7	0,86	0,21	-0,05
BARTAN	Angers	Urbaine	5,2	6,1	0,62	0,87	0,14	-0,22
MONPAN	Angers	Urbaine	5,6	5,1	0,64	0,85	0,15	-0,23
ALARAN	Angers	Urbaine	5,4	3,7	0,67	0,87	0,24	-0,12
LACMAN	Angers	Périurbaine	7	5,2	0,69	0,85	0,18	-0,17
VICTLM	Le Mans	Urbaine	4,9	4,4	0,65	0,82	-0,08	-0,24
VEGALM	Le Mans	Urbaine	4,9	3,1	0,61	0,8	0,15	-0,1
EXUPCH	Cholet	Urbaine	3,2	4,2	0,76	0,85	-0,02	-0,36
LAENRO	La Roche sur Yon	Urbaine	3,3	4,9	0,65	0,82	0,16	0,07
MAZALV	Laval	Urbaine	5,5	2,6	0,60	0,82	0,2	-0,09
FOLITA	La Tardière	Rurale nationale	5,1	3,9	0,60	0,79	0,23	-0,04
<b>Moyenne</b>			<b>5,4</b>	<b>4,3</b>	<b>0,68</b>	<b>0,84</b>	<b>0,15</b>	<b>-0,10</b>

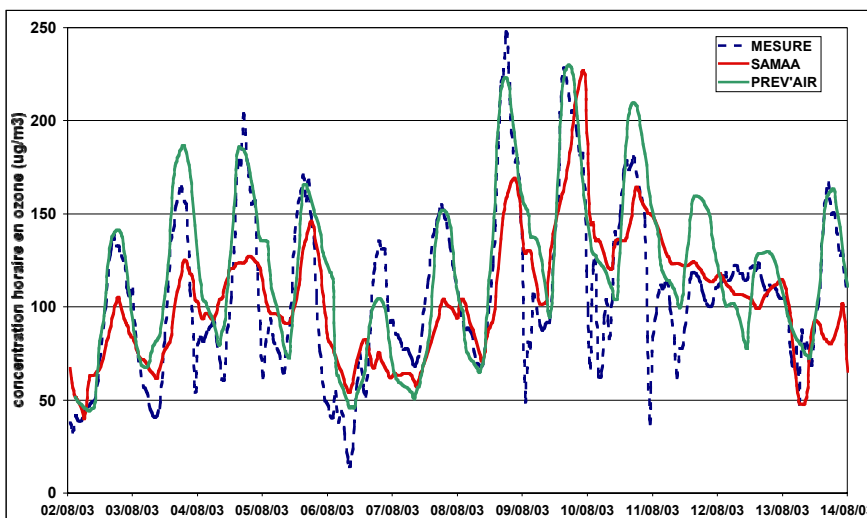
Il n'existe pas de typologie de station pour laquelle les modèles offrent de meilleurs résultats : les scores sont comparables entre les sites urbains ou périurbains. Si on s'intéresse aux performances de SAMAA en fonction de la zone de surveillance (agglomération, ville ou zone rurale dans le cas de la Tardière), la dispersion des valeurs (représentée par le NMSE) est plus faible pour le sud de la région (Cholet, la Roche-sur-Yon) ou l'est (Le Mans). Mais ce constat doit être nuancé : les sites localisés dans les agglomérations de Nantes ou Saint-Nazaire sont caractérisés par de meilleurs coefficients de corrélation que les stations implantées à la Roche-sur-Yon ou au Mans. Un critère unique n'est donc pas suffisant pour valider une évaluation par modélisation.

En comparaison avec les données de mesure, les modèles SAMAA et PREV'AIR donnent des réponses cohérentes. PREV'AIR semble légèrement plus performant, notamment pour la corrélation mais le coefficient de corrélation moyen pour SAMAA, proche de 0,7 est correct. Concernant la dispersion des valeurs, les performances des deux modèles (NMSE égal de 4 ou 5) sont proches puisqu'on peut considérer qu'un modèle donne une réponse insatisfaisante pour un NMSE supérieur à 30 ou 40.

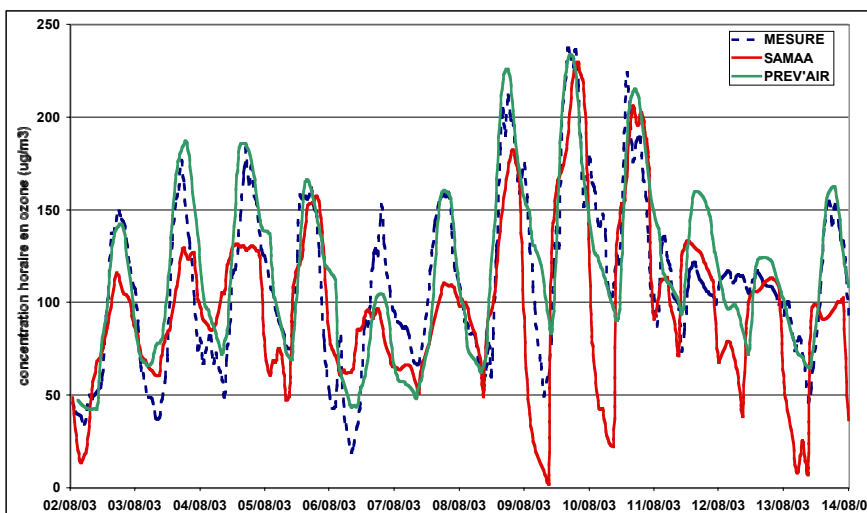
Avant la présente étude, les simulations réalisées avec SAMAA intégraient une approche basique du phénomène d'apport de pollution extérieure à la région (considéré alors constant sur la période de modélisation). Les scores NMSE par exemple obtenus sur l'agglomération angevine pour la période du 21 au 23 septembre sont le plus souvent supérieurs à 10. Lors de cette étude, les scores NMSE sont majoritairement inférieurs ou égaux à 7. L'approche plus complète utilisée ici prouve l'intérêt d'intégrer la variabilité spatiale et temporelle de l'apport extérieur en ozone, donnée par le modèle CHIMERE Continental. Le chapitre 7 revient sur l'évaluation de l'importance de cet apport.

Les trois graphiques suivants représentent des séries chronologiques de comparaison mesure-modèle pour trois stations présentant respectivement trois performances : la plus faible, une moyenne et la meilleure. Cette performance est basée sur le critère NMSE et le coefficient de corrélation.

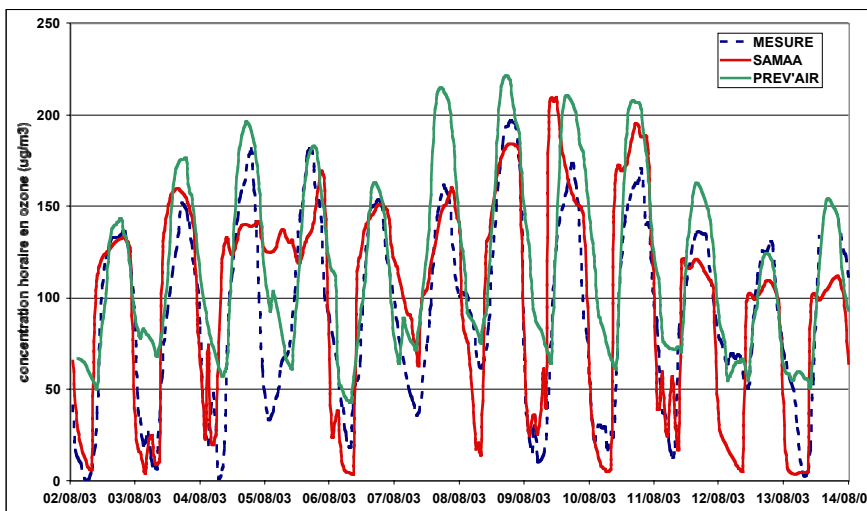
**Graphique 1 : EMILPO : site associé à la plus faible performance de SAMAA**



**Graphique 2 : LESSN : site associé à une performance moyenne de SAMAA**



**Graphique 3 : EXUPCH : site associé à la meilleure performance de SAMAA**



D'après ces graphiques, le modèle SAMAA reproduit de manière insatisfaisante l'ozone pendant la nuit. Ce résultat était attendu puisque le module photochimique de SAMAA (cf. annexe 1) prend mal en compte la chimie nocturne pilotée par les ions nitrate. La performance globale de SAMAA doit à contrario être évaluée pendant les périodes de fort ensoleillement, donc essentiellement l'après-midi.

Pendant cette période, SAMAA permet de reproduire de façon correcte les niveaux d'ozone, les scores statistiques en témoignent. Le site de Pornichet, situé en bord de mer, fait exception avec la performance la plus faible. Une mauvaise prise en compte des phénomènes météorologiques côtiers peut être à l'origine de cette situation. SAMAA intègre en effet des données météorologiques à large échelle (modèle ARPEGE à 50 km – cf. annexe 1) qui n'intègrent pas la description fine des phénomènes locaux de brise de mer.

Nous pouvons conclure qu'à partir de l'utilisation de scores objectifs, le modèle SAMAA peut être validé pour simuler l'ozone pendant les périodes de forte pollution même si des écarts subsistent avec la réalité. L'intégration de données complémentaires d'émission pourrait être un facteur d'amélioration.

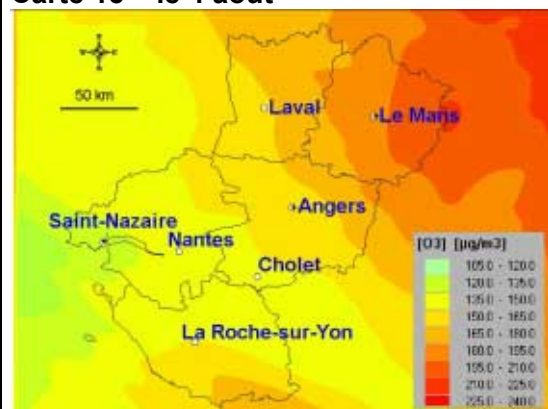
## 6.4 – Des cartographies pour l'aide à la compréhension des phénomènes de pollution

Deux séries de cartes sont proposées. La première (cartes 15 à 22) présente de façon quotidienne les niveaux maxima de pollution du 4 au 11 août 2003. La dynamique de l'épisode est bien reproduite par le modèle SAMAA avec les premiers dépassements du seuil d'information de la population le 4 août et des niveaux très importants contenus dans l'est de la région des Pays de la Loire. Les 8, 9, et 10 août, comme indiqué sur les sites de mesure, la pollution se généralise à l'ensemble de la région, avec des niveaux ponctuellement proches du seuil d'alerte, à l'exemple de la situation observée à Saint-Nazaire les 8 et 9. Le 11 août, les niveaux commencent à diminuer avec l'arrivée d'une masse d'air océanique.

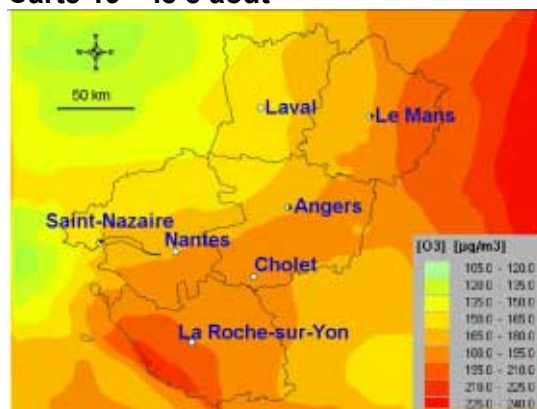
La seconde série (cartes 23 à 30) reconstitue la pollution du 8 août 2003 de 10 heures à 24 heures. Entre 11 et 14 heures, la pollution est initiée à partir de masses d'air chargées en ozone arrivant par l'est et le sud des Pays de la Loire. A partir de 14 heures jusqu'à 18 heures, le nuage d'ozone s'étend et impacte le littoral jusqu'à Saint Nazaire. A partir de 22 heures, la baisse de l'ensoleillement réduit fortement l'activité photochimique et la pollution disparaît.

**Cartes de pollution du 4 au 11 août 2003 à 16 heures**

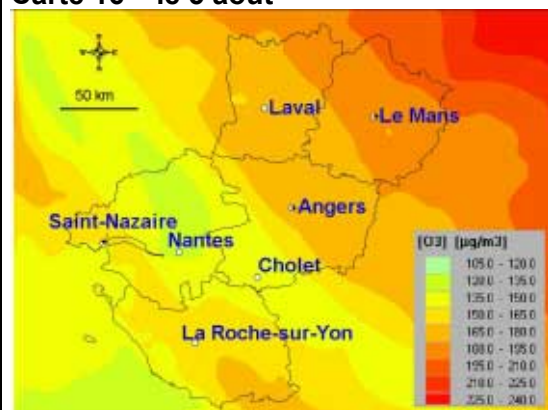
**Carte 15 – le 4 août**



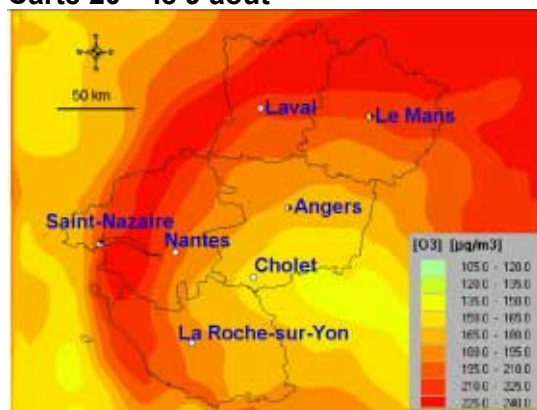
**Carte 19 – le 8 août**



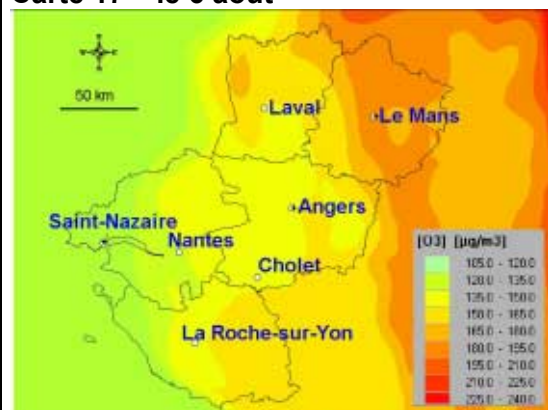
**Carte 16 – le 5 août**



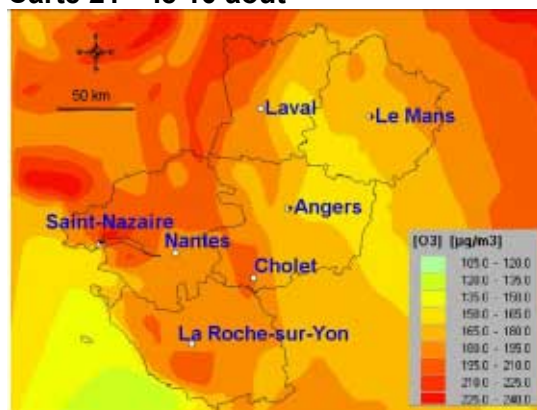
**Carte 20 – le 9 août**



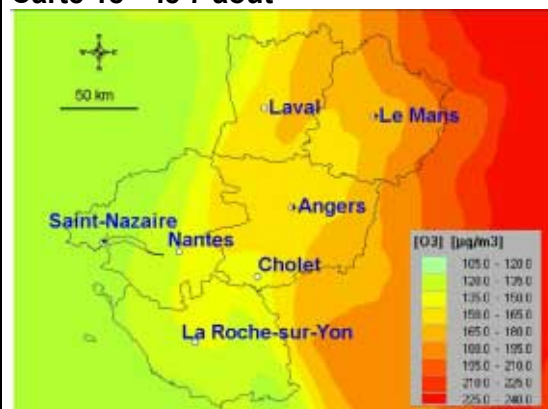
**Carte 17 – le 6 août**



**Carte 21 – le 10 août**



**Carte 18 – le 7 août**

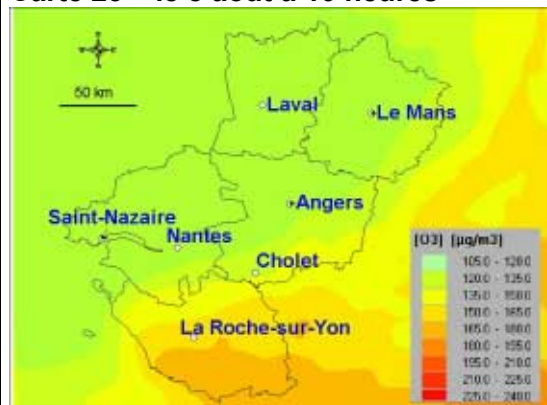


**Carte 22 – le 11 août**

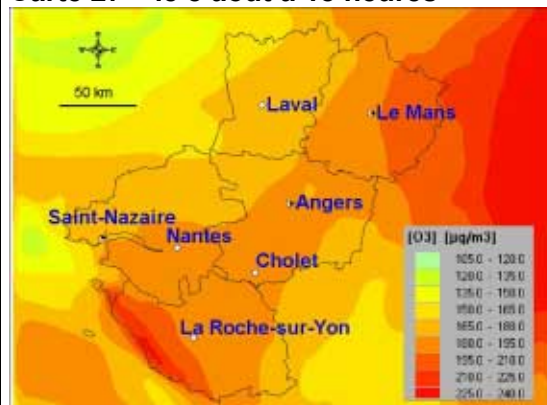


**Cartes de pollution le 8 août 2003 de 10 à 24 heures**

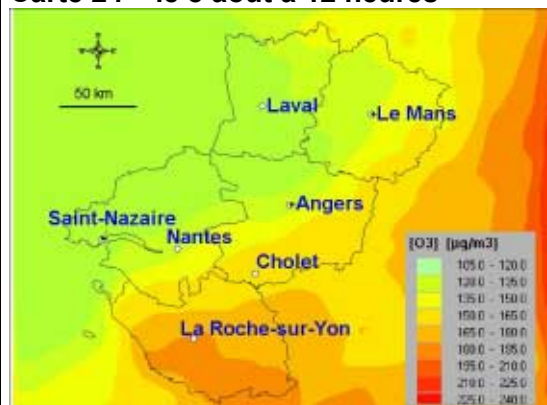
**Carte 23 – le 8 août à 10 heures**



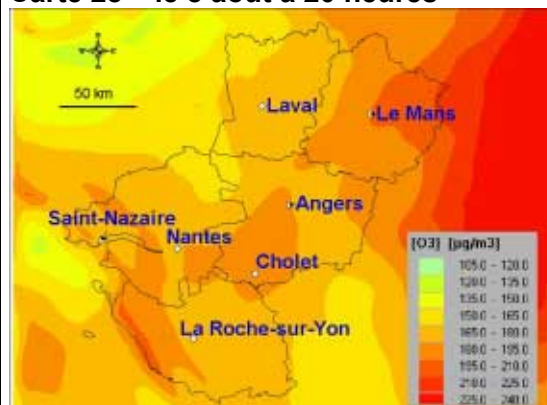
**Carte 27 – le 8 août à 18 heures**



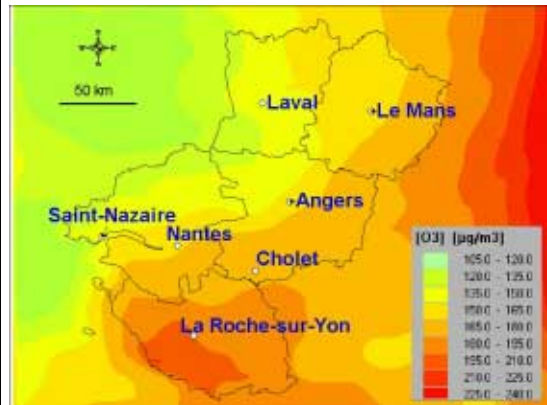
**Carte 24 – le 8 août à 12 heures**



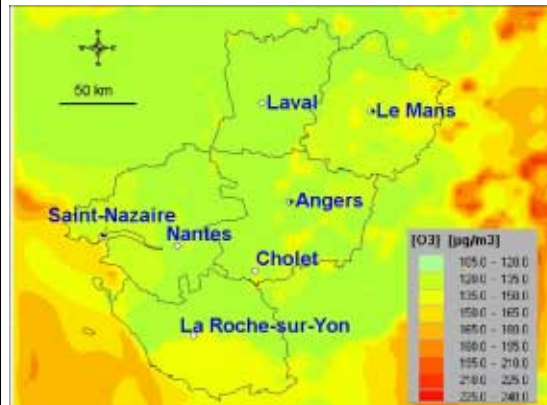
**Carte 28 – le 8 août à 20 heures**



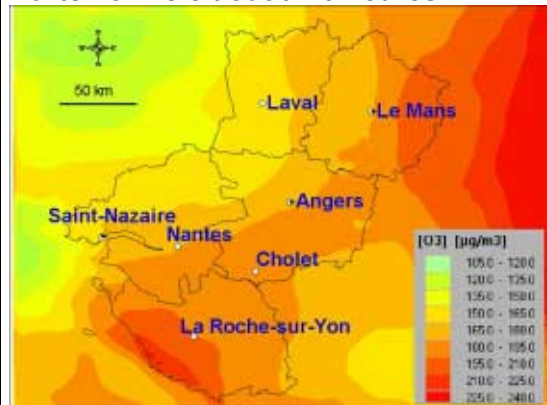
**Carte 25 – le 8 août à 14 heures**



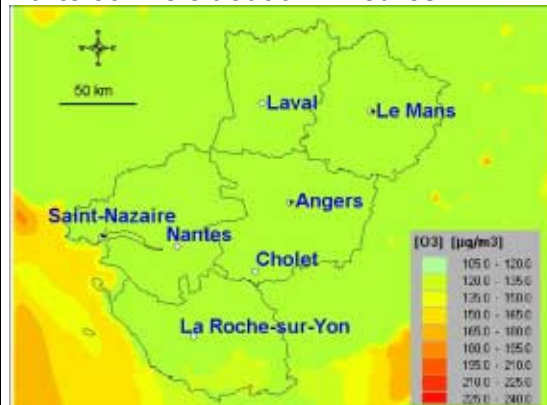
**Carte 29 – le 8 août à 22 heures**



**Carte 26 – le 8 août à 16 heures**



**Carte 30 – le 8 août à 24 heures**



## **7. EVALUATION DE L'APPORT EN OZONE EXTERIEUR A LA REGION**

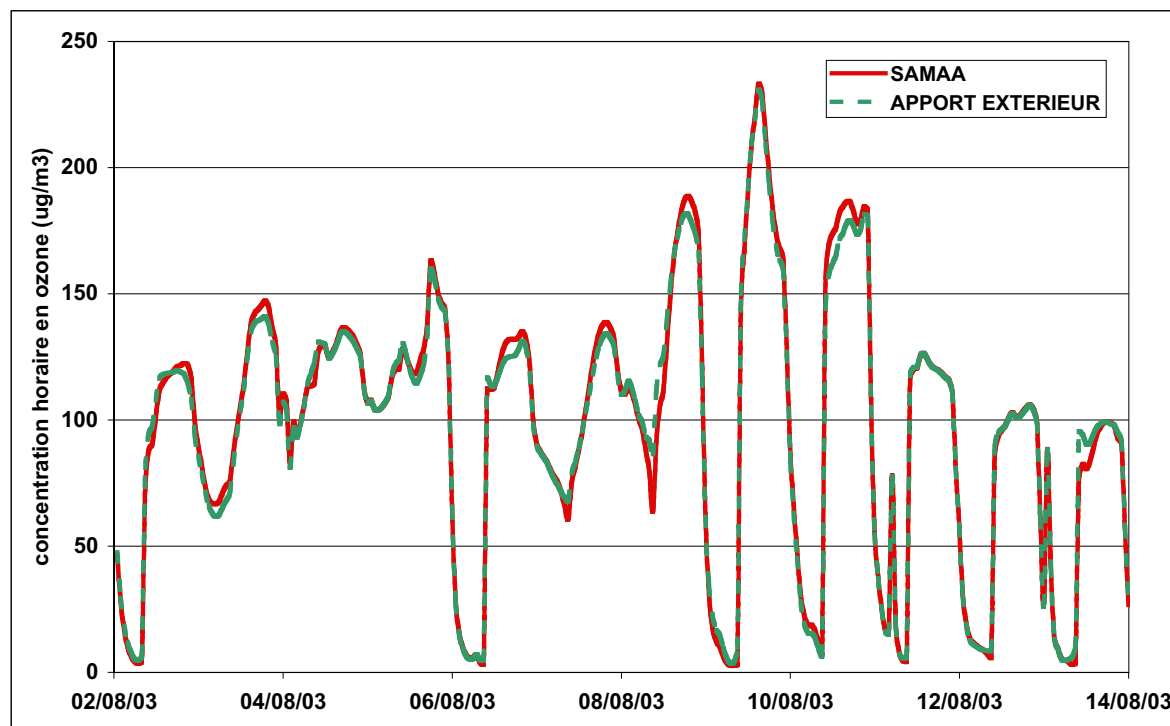
---

L'apport extérieur en ozone sur les Pays de la Loire pendant l'épisode d'août 2003 a été évalué. Selon nos estimations, cet apport représenterait plus de 90 % des concentrations mesurées, sans distinction géographique.

L'apport extérieur en ozone sur les Pays de la Loire pendant l'épisode d'août 2003 a été évalué : la solution a consisté à désactiver le calcul des émissions de polluants à l'échelle de la région et à lancer SAMAA sur la seule connaissance de la pollution à la limite du domaine, information donnée par le système PREV'AIR [9].

Le graphique suivant représente une illustration de l'importance de cet apport d'ozone en provenance de l'est et du sud de la région (cf. Cartographies 15 à 22).

**Graphique 4: Pollution en ozone totale (SAMAA régional) et pollution importée à Bouaye, en périphérie de Nantes du 2 au 13 août 2003**



La ville de Bouaye, en périphérie de Nantes a été choisie en raison de l'influence qu'elle subit par rapport à l'agglomération nantaise, forte zone émettrice de polluants précurseurs de l'ozone. Mais la situation est identique également dans les autres agglomérations : la pollution détectée pendant l'épisode est très majoritairement issue de masses d'air extérieures à la région et chargées en ozone et ses précurseurs. Cet apport extérieur représenterait ainsi, selon nos estimations de 90 à 100 % des concentrations mesurées. Cette situation était déjà connue mais cette étude présente l'intérêt de mieux quantifier l'importance du phénomène. Il pourrait être intéressant de confirmer l'information sur d'autres épisodes de pollution, moins aigus par exemple, information primordiale pour guider les politiques publiques en matière de gestion de la qualité de l'air.

## CONCLUSION ET PROLONGEMENTS

---

Une étude de modélisation de l'ozone à l'échelle des Pays de la Loire a été menée sur la période de canicule de l'été 2003, période pendant laquelle ce polluant a été observé à de fortes concentrations. Les objectifs de l'étude étaient de consolider notre inventaire d'émissions, d'éprouver le modèle SAMAA dans sa nouvelle version utilisant la prise en compte détaillée de l'import d'ozone, de cartographier l'ozone sur la durée de l'épisode et d'évaluer l'apport extérieur en pollution à la région.

Les bilans spatiaux des émissions de polluants, dont les précurseurs de l'ozone, permettent de visualiser et de quantifier les secteurs émetteurs prédominants (agglomérations, zones industrielles, axes de circulation inter-urbains). La comparaison avec les données régionales issues du CITEPA [3] montre que l'approche d'évaluation des émissions du trafic routier est correcte. Pour le secteur industriel, un effort de récupération des données issues des émetteurs minoritaires devra être mené.

Les scores statistiques de comparaison entre SAMAA et les sites de mesure sont satisfaisants. Le modèle reproduit correctement l'évolution de l'épisode de pollution entre le 2 et le 13 août 2003. Nous considérons que SAMAA est validé pour simuler l'ozone en période de forte pollution. Les cartes réalisées montrent l'importance de l'influence par des masses d'air chargées en ozone à laquelle est soumise la région des Pays de la Loire. D'après nos estimations, la pollution en provenance de l'extérieur pendant la période simulée représente plus de 90 % des concentrations en ozone observées.

L'échelle temporelle reproduite le simulateur SAMAA ou le système national PREV'AIR est le pas de temps horaire ou journalier. Cette échelle est celle adaptée à la description de la dynamique ou à la prévision d'un épisode de pollution. Des réalisations de cartographies à l'échelle de la saison et de l'année doivent être envisagées à une fréquence annuelle. Cette application cartographique concerne des calculs réalisés à posteriori pour la fourniture de bilans utilisables en tant que produit de communication pour les bulletins mensuels ou les rapports annuels d'Air Pays de la Loire. Les résultats envisagés dans ce cadre sont des cartes de moyennes annuelles, de maxima, de nombre de jours ou d'heures de franchissement d'un seuil donné afin de spatialiser la charge polluante à laquelle sont soumises les différentes zones de la région (selon typiquement un maillage de 5 km). Des exemples sont donnés ci-dessous :

- ❑ Carte régionale du nombre de jours de dépassement du seuil d'information de la population pour l'ozone,
- ❑ Carte régionale du nombre d'occurrences de dépassement de la moyenne glissante sur 8 heures pour l'ozone,
- ❑ Carte régionale de la répartition de la pollution au dioxyde d'azote vis-à-vis des seuils d'évaluation des Directives.

En mode prévision, une expérimentation d'une plateforme d'estimation de la pollution à courte échéance (le lendemain ou le surlendemain) a été réalisée à Air Pays de la Loire durant l'été 2004. Cette plateforme de prévision à haute résolution spatiale incorpore les émissions calculées par SAMAA. Les premiers résultats de scores indiquent une meilleure performance que PREV'AIR pour le dioxyde d'azote et une performance comparable en ce qui concerne l'ozone. Cette plateforme a été utilisée pour la prévision des niveaux d'alerte au niveau de la région des Pays de la Loire pendant la période estivale 2004. Son installation pérenne à Air Pays de la Loire est en projet pour 2005 afin d'augmenter le niveau d'expertise interne en matière de prévision de l'ozone et du dioxyde d'azote.



---

# ANNEXES

---

ANNEXE 1 : Air Pays de la Loire |

ANNEXE 2 : Description des systèmes SAMAA et PREV'AIR

ANNEXE 3 : types des sites de mesure

ANNEXE 4 : polluants

ANNEXE 5 : seuils de qualité de l'air

## annexe 1 : Air Pays de la Loire

Doté d'une solide expertise riche de vingt-cinq ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréé par le ministère de l'Écologie et du développement durable pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

### surveiller pour savoir et comprendre



#### l'air de la région sous haute surveillance

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une cinquantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

#### mesurer où et quand c'est nécessaire

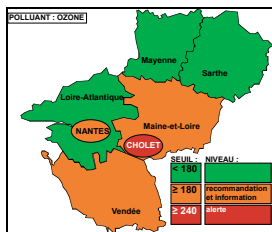
Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

#### la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le COFRAC et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

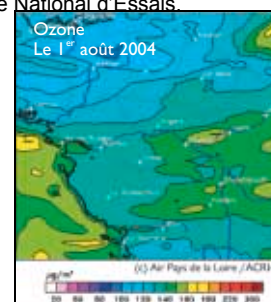
### simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.



### prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à ses logiciels Sib'Air.



### informer pour prévenir

#### pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...).

#### [www.airpl.org](http://www.airpl.org) : tous les résultats, tous les dossiers

Le site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org) donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées plusieurs fois par jour. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices ATMO, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

#### des publications largement diffusées

Chaque mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin *Au fil de l'air*. Un rapport annuel dresse par ailleurs un état très complet de la qualité de l'air.



## annexe 2 :

# Les systèmes SAMAA et PREV'AIR

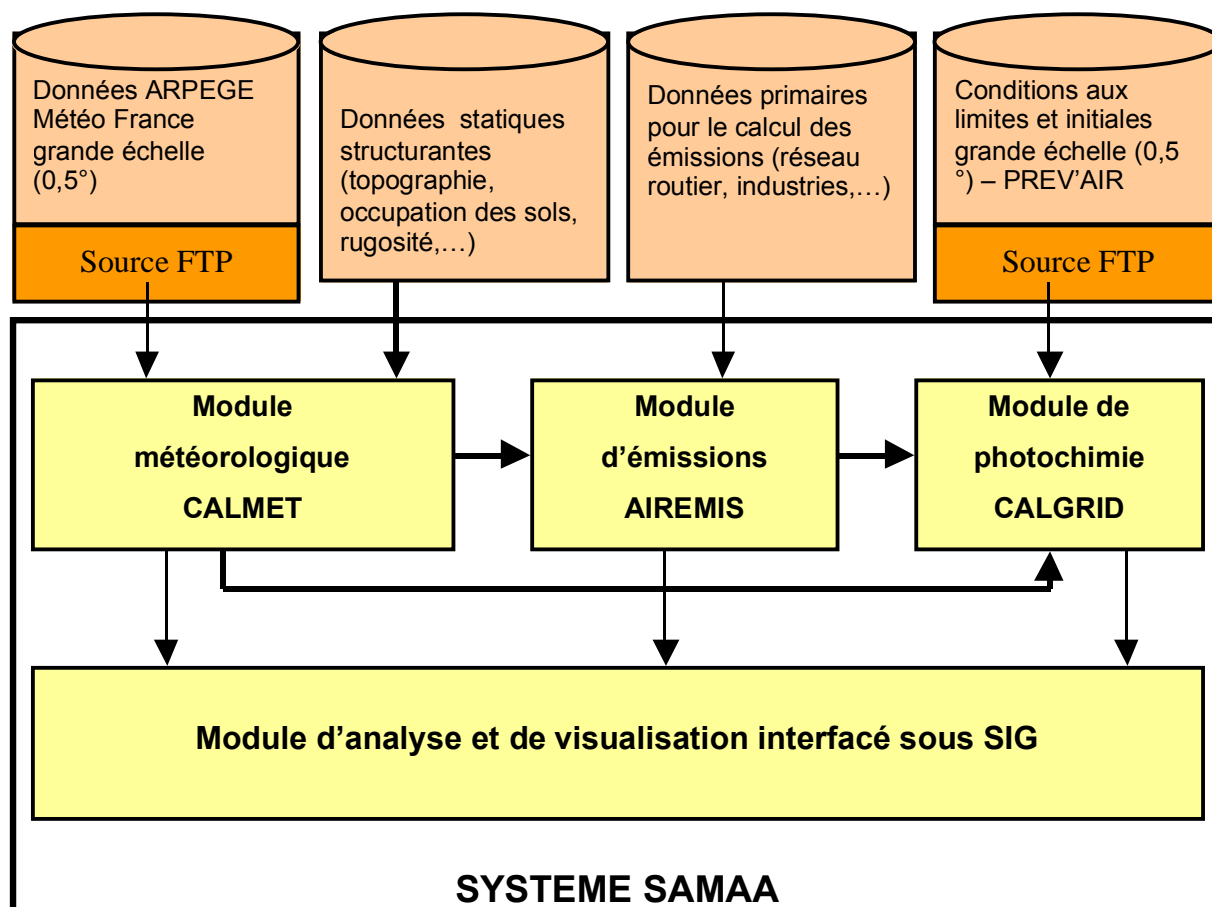
SAMAA et PREV'AIR sont des outils de simulation déterministe de la pollution atmosphérique. Ils représentent numériquement les processus de dispersion et de transformation des polluants et permet d'établir une chaîne de cause à effet entre les émissions, les conditions météorologiques et les concentrations ambiantes dans le domaine modélisé.

### 1- Le système SAMAA

SAMAA est un système issu d'un projet de 3 ans dont Air Pays de la Loire est à l'initiative. La société ACRI-st, spécialisée dans l'environnement, a été chargée de son développement. Le projet a été suivi par un groupe de partenaires associant Atmo Auvergne et le LCSQA (Laboratoire central de Surveillance de la Qualité de l'Air représenté par l'Ecole des Mines de Douai). Le simulateur a fait l'objet d'un processus de validation préliminaire des modules photochimiques (dioxyde d'azote, ozone) et de dispersion (modélisation des panaches en provenance des sources ponctuelles).

SAMAA nécessite d'être alimenté en de nombreuses données d'entrée comme le montre le schéma ci-dessous.

Figure 1 : Principe de fonctionnement du simulateur SAMAA (résolution à 5 km)



Une fois les données d'entrée intégrées, les modules de SAMAA sont successivement activés :

- Le module météorologique CALMET [7] interpole les données de basse résolution ARPEGE sur la grille du domaine (région des Pays de la Loire dans notre étude avec une résolution de 5 km). Il fabrique les données météorologiques horaires en 3 dimensions (vent, température, pression, humidité,...) qui seront lues par les modules d'émission et de photochimie.
- Le module d'émission AIREMIS, développé par ACRI-st, détermine heure par heure les quantités de polluants rejetées par les différentes sources prises en compte à partir de la connaissance de l'activité de l'émetteur associée à des facteurs d'émission (exemple : 5 kg d'oxydes d'azote rejetés en une heure par 10 000 véhicules parcourant un kilomètre).
- Le module de photochimie CALGRID [8] lit les informations fournies par les précédents modules, intègre l'apport de pollution extérieure au domaine (source : PREV'AIR), calcule le transport et la transformation des polluants dans le but de simuler les concentrations des espèces chimiques.
- Le module d'analyse et de visualisation permet la production de cartes géoréférencées (repérées dans l'espace) au sol et la création de graphiques d'évolution temporelle.

CALMET et CALGRID sont des modèles développés par la société SIGMA Reaserch Corporation et validés individuellement par l'agence américaine de l'environnement (EPA).

## 2- Le système PREV'AIR [9]

Le système PREV'AIR a été mis en place en 2003 à l'initiative du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) afin de générer et de diffuser quotidiennement des prévisions et des cartographies de qualité de l'air, issues de simulations numériques, à différentes échelles spatiales. Des cartes d'observation établies à partir de mesures effectuées sur le terrain sont également délivrées par le système.

Des prévisions sont accessibles sur l'hémisphère Nord, l'Europe et la France pour l'ozone et le dioxyde d'azote, à l'échelle européenne pour les particules. Les prévisions et cartographies de la qualité de l'air diffusées quotidiennement sont le résultat de simulations numériques effectuées à l'aide de modèles de chimie-transport qui permettent de calculer l'évolution de la pollution photo-oxydante dans les basses couches de l'atmosphère, à différentes échelles spatiales (Hémisphère Nord, Europe et France).

Le système PREV'AIR, hébergé à l'INERIS, vient également en appui des modèles régionaux (par exemple : SAMAA) pour fournir les informations sur l'apport de pollution à grande échelle. Le principe de fonctionnement du simulateur PREV'AIR est proposé dans le schéma ci-dessous.

Figure 2 : Principe de fonctionnement du système PREV'AIR avec le module chimique CHIMERE (résolution de 0,5 °)



## annexe 3 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



### **Sites urbains :**

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



### **Sites périurbains**

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



### **Sites ruraux**

Les sites ruraux participent à la surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond (notamment photochimique).

## annexe 4 : polluants

### **L'ozone ( $O_3$ )**

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

### **Les oxydes d'azote ( $NO_x$ )**

Les  $NO_x$  comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote ( $NO_2$ ). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (59 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

### **Les particules (ou poussières)**

Les particules ou poussières constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10  $\mu m$  (PM10), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10  $\mu m$ , elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. On peut citer également les poussières issues des carrières et des cimenteries ainsi que les poussières issues de l'usure des revêtements des routes et des pneus, et, enfin, de l'érosion.

### **Les composés organiques volatils (COV)**

Ils englobent des composés organiques gazeux que l'on rencontre dans l'atmosphère, dont les principaux sont des hydrocarbures.

Les trois sources principales sont le trafic routier (39 %), l'utilisation industrielle ou domestique de peinture, vernis, colle, etc, dont les solvants s'évaporent au cours du séchage, et l'évaporation à partir du stockage d'hydrocarbures. Avec les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, ils contribuent à la formation d'ozone troposphérique.

Les BTEX (appellation regroupant le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes) sont des hydrocarbures monocycliques (HAM) constitués d'un seul cycle benzénique. Les BTEX entrent dans la composition des carburants des réservoirs ou des stations services.

### **Le monoxyde de carbone (CO)**

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (59 %) par le trafic routier. Le chauffage urbain, collectif ou individuel, vient en deuxième position avec 21 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

### **Le dioxyde de soufre ( $SO_2$ )**

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le  $SO_2$  provient à plus de 85 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

## annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2004

		POLLUANT							
TYPE DE SEUIL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	DONNÉ E DE BASE	ozone	dioxyde d'azote	oxydes d'azote	poussières (PM10)	plomb	benzène	monoxy de de carbone	dioxyde de soufre
valeurs limites	moy. annuelle	-	52	30 <sup>(1)</sup>	41	0,5	10	-	20 <sup>(2)</sup>
	moy. hivernale	-	-	-	-	-	-	-	20 <sup>(2)</sup>
	moy. journalière	-	-	-	55 <sup>(3)</sup>	-	-	-	125 <sup>(4)</sup>
	moy. 8-horaire	-	-	-	-	-	-	10 000	-
	moy. horaire	-	200 <sup>(5)</sup> 260 <sup>(6)</sup>	-	-	-	-	-	380 <sup>(7)</sup>
seuils d'alerte	moy. horaire	1 <sup>er</sup> seuil : 240 <sup>(8)</sup> 2 <sup>e</sup> seuil : 300 <sup>(8)</sup> 3 <sup>e</sup> seuil : 360	400 200 <sup>(9)</sup>	-	-	-	-	-	500 <sup>(8)</sup>
seuils de recommandation et d'information	moy. horaire	180	200	-	-	-	-	-	300
objectifs de qualité	moy. annuelle	-	40	-	30	0,25	2	-	50
	moy. journalière	65 <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
	moy. 8-horaire	110	-	-	-	-	-	-	-
	moy. horaire	200 <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-

(1) pour la protection de la végétation

(2) pour la protection des écosystèmes

(3) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel)

(4) à ne pas dépasser plus de 3j par an (percentile 99,2 annuel)

(5) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel)

(6) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,8 annuel)

(7) à ne pas dépasser plus de 24h par an (percentile 99,7 annuel)

(8) à ne pas dépasser plus de 3h consécutives

(9) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

**valeur limite :** niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement

**seuil d'alerte :** niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises

**seuil de recommandation et d'information :** niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée

**objectif de qualité :** niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée

## BIBLIOGRAPHIE

---

[1] Le bilan de la pollution de l'air de l'été 2003 en France – la situation météorologique – J. MANACH (METEO France) - Journée Technique de l'ADEME du 4 mars 2004 (Pollution de l'air et canicule 2003 – Bilan et conséquences)

[2] Bilan de la pollution photochimique observée en France au cours de l'été 2003 – C. ELICHEGARAY, J. COLOSIO, S. BOUALALA (ADEME)– Journée Technique de l'ADEME du 4 mars 2004 (Pollution de l'air et canicule 2003 – Bilan et conséquences)

[3] Actualisation de l'inventaire d'émissions dans l'atmosphère de la région des Pays de la Loire – Rapport final – CITEPA – Décembre 2001

[4] Guide méthodologique en modélisation déterministe – Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (INERIS – EMD) – Janvier 2001

[5] Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - séries sectorielles et analyses étendues - Rapport d'inventaire national SECTEN – CITEPA – février 2004

[6] La prévention des pollutions et risques industriels dans les Pays de la Loire – Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) des Pays de la Loire – édition 2003

[7] Scire, J.S., E.M. Insley and R.J. Yamartino, 1990b : Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model. Sigma Research Corp., Concord, MA.

[8] Yamartino R.J., J.S. Scire, S.R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang, 1989 : CALGRID : A mesoscale Photochemical Grid Model – Volume I : Model formulation document. Sigma Research Corp., Concord, MA.

[9] <http://prevair.ineris.fr>