



Au service  
de la qualité  
de l'air

**Faisabilité technique d'une  
spatialisation de la prévision  
quotidienne de la qualité de l'air sur  
Strasbourg**

ASPA 06013101-I-D

**Décembre 2005**

Conditions de diffusion des données :

- Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'ASPA en terme de « Source d'information ASPA 06013101-I-D».
- Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données AQ 133.
- Sur demande, l'ASPA met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en oeuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur.
- Rediffusion du document réservée au demandeur.

Intervenants :

Coordination du projet :	Emmanuel RIVIERE
Rédaction du rapport :	Charles SCHILLINGER
Tiers examen du rapport :	Emmanuel RIVIERE
Approbation finale :	Joseph KLEINPETER / Alain TARGET

**Echelle des qualificatifs utilisés pour le calage du modèle**

Qualificatif	Pourcentage
<b>Très bon</b>	> 75%
<b>Bon</b>	60 - 75%
<b>Moyen</b>	40 - 60%
<b>Médiocre</b>	30 - 40%
<b>Mauvais</b>	< 30 %

<b>I. CADRE ET OBJECTIF .....</b>	<b>5</b>
<b>II. MODELE UTILISE .....</b>	<b>6</b>
1. GENERALITES.....	6
2. MISE EN ŒUVRE DU MODELE SUR LE CENTRE VILLE DE LONDRES ET EVOLUTIONS APORTEES DANS LE CADRE DE L'ETUDE .....	6
<b>III. PARAMETRES ETUDIES.....</b>	<b>8</b>
<b>IV. DEROULEMENT DE L'EVALUATION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>9</b>
<b>V. DONNEES D'ENTREE ET CALAGE DU MODELE ADMS URBAN A L'ASPA .....</b>	<b>10</b>
1. CHOIX DES DONNEES D'ENTREE .....	10
a) Les émissions .....	10
b) les données météorologiques.....	10
c) les données de pollution de fond.....	10
2. HISTORIQUE DU CALAGE .....	12
a) Les émissions .....	12
b) La pollution de fond.....	14
c) Les paramètres du modèle .....	19
d) Derniers réglages.....	19
3. CONCLUSION DU CHAPITRE V.....	20
<b>VI. EVALUATION DE LA PLATE FORME DE PREVISION .....</b>	<b>21</b>
1. L'OZONE .....	21
a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés.....	21
b) Evaluation de la tendance .....	25
c) Comparaison avec PREVAIR.....	26
2. LES PARTICULES PM10.....	27
a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés.....	27
b) Evaluation de la tendance .....	30
c) Comparaison avec PREVAIR.....	31
3. LE DIOXYDE D'AZOTE .....	32
a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés.....	32
b) Evaluation de la tendance .....	35
c) Comparaison avec PREVAIR.....	36
<b>VII. CONDITIONS D'APPLICABILITE A D'AUTRES AGGLOMERATIONS .....</b>	<b>37</b>
<b>VIII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>39</b>

**ANNEXE : ASSIMILATION DES DONNEES DE MESURE POUR LA PREVISION  
CARTOGRAPHIQUE – Rapport Géovariances**

## LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES UTILISES

ADMS :	Atmospheric Dispersion Modelling System
ASPA :	Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace
CERC :	Cambridge Environmental Research Consultants Ltd
CO :	Monoxyde de carbone
COV :	Composés Organiques Volatils
COVNM :	Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
CUS :	Communauté Urbaine de Strasbourg
DDE :	Direction Départementale de l'Equipement
IQA :	Indice de Qualité de l'Air
MNT :	Modèle Numérique de Terrain
NO :	Monoxyde d'azote
NO <sub>2</sub> :	Dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub> :	Oxydes d'azote (NO + NO <sub>2</sub> exprimés en équivalent NO <sub>2</sub> pour les rejets)
O <sub>3</sub> :	Ozone
PM <sub>10</sub> :	Particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 µm
SO <sub>2</sub> :	Dioxyde de soufre
TGAP :	Taxe Générale sur les Activités Polluantes

## I. Cadre et objectif

L'ASPA gère en Alsace l'information quotidienne de la population sur les niveaux de pollution atmosphérique ainsi que le déclenchement, le maintien et l'arrêt des procédures d'information du public en cas de dépassement des niveaux de recommandations et d'alerte de la population pour quatre polluants : ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 µm.

A cet effet, l'ASPA dispose d'un réseau d'une trentaine de stations fixes de mesure de la pollution atmosphérique réparties sur l'ensemble de l'Alsace.

Une première étude issue de « l'analyse transfrontalière de la qualité de l'air dans le Rhin supérieur », réalisée à l'échelle de la région, a fait apparaître qu'une part non négligeable de la population vivant en milieu urbain était potentiellement exposée à des teneurs en dioxyde d'azote supérieures à la valeur limite annuelle de la directive européenne et à des teneurs dépassant l'objectif annuel de la qualité de l'air de la législation française (décret du 15 février 2002).

De plus, la cartographie issue de l'étude géostatistique faite à partir des données de la campagne régionale 2004 a montré une grande disparité dans les niveaux de pollution constatés sur l'agglomération strasbourgeoise.

La modélisation en proximité automobile a également mis en avant les différences de concentrations de polluants d'origine automobile (particules, dioxyde d'azote et benzène) au niveau de la ville de Strasbourg.

Cette variabilité de l'exposition de la population n'est pas prise en compte lors de la diffusion de l'indice quotidien de la qualité de l'air donné pour l'ensemble de l'agglomération strasbourgeoise.

Il convient donc de pouvoir associer cet indice de qualité de l'air quotidiennement diffusé par l'ASPA à une information plus localisée aux habitants de Strasbourg. L'ASPA propose ainsi la mise en place sur son site web d'une cartographie représentant la spatialisation de la qualité de l'air sur la ville.

L'indice de qualité de l'air est calculé à partir des sous-indices de l'ozone, du dioxyde d'azote, des particules et du dioxyde de soufre. Ce dernier polluant affiche des concentrations très faibles et ne présente jamais le sous-indice le plus élevé sur la zone étudiée, c'est pourquoi il ne sera pas pris en compte dans cette étude.

Ce projet présentera une spatialisation des sous-indices de qualité de l'air en ozone, particules de type PM10 et dioxyde d'azote, ainsi que de l'indice de qualité de l'air (IQA). Pour chacun des 3 polluants et de l'IQA, 4 cartographies seront disponibles à 4 échéances différentes :

- une carte de la simulation du jour J-1
- 3 cartes de prévision pour les jours J, J+1 et J+2

Aux fins de mise en place de sa plate forme de modélisation à l'échelle urbaine, l'ASPA a sollicité la société NUMTECH, spécialisée dans la modélisation numérique, notamment en matière de qualité de l'air, et distributeur pour la France du logiciel ADMS Urban<sup>1</sup> développé par le CERC<sup>2</sup>.

Une première étape de la mise en œuvre de simulations numériques est le calage du modèle par rapport aux données issues des stations de mesure de l'ASPA.

Puis, l'outil a été évalué en mode prévisions sur une période s'étalant de décembre 2004 à octobre 2005.

L'objet du présent rapport est de fournir un bilan de l'évaluation de la plate forme de modélisation mise en place. Cette évaluation ne concerne que les sous indices. L'annexe, rédigée par Géovariance, présente la méthode d'assimilation de données permettant d'améliorer les scores de prévision.

<sup>1</sup> Atmospheric Dispersion Modelling System : modèle de dispersion atmosphérique à l'échelle urbaine

<sup>2</sup> Cambridge Environmental Research Consultants Ltd

## II. Modèle utilisé

### 1. Généralités

Le modèle ADMS Urban permet de reconstituer les niveaux de pollution (indices de qualité de l'air, dépassements de valeurs limites, de seuils d'information et d'alerte et moyennes annuelles).

Ce modèle permet le calcul des niveaux de pollution prévus pour les deux prochains jours, en différents points de l'agglomération de Strasbourg. Ce modèle peut également générer une grille permettant la spatialisation de la qualité de l'air.

Le modèle ADMS Urban est un modèle gaussien nouvelle génération pour les sources explicites, imbriqué dans un modèle semi-Lagrangien. Il peut intégrer plus de 6000 sources (industrielles, routes, sources diffuses...) et prend en compte des phénomènes complexes comme les effets "Street canyon", la photochimie, la conversion SO<sub>2</sub>-PM<sub>10</sub>, les reliefs complexes, l'occupation des sols.

Ce modèle a été validé dans le cadre d'études urbaines complètes (Londres, Strasbourg, Lyon, Budapest, Dublin,...).

La plate forme URBANAIR est obtenue en alliant une automatisation les entrées météorologiques et pollution de fond avec le modèle ADMS Urban.

Dans l'objectif d'une prévision de la qualité de l'air, la pollution de fond peut provenir de différents modèles (PREVAIR, Rural Predictor...) afin d'appréhender au mieux les conditions aux limites de la zone étudiée.

### 2. Mise en œuvre du modèle sur le centre ville de Londres et évolutions apportées dans le cadre de l'étude

Une prévision pour les jours J, J+1 sur le centre ville londonien pour les polluants suivants : dioxyde d'azote, ozone et particules. Le dioxyde de soufre n'est pas pris en compte (et n'a pas été ajouté dans le cadre de l'application sur Strasbourg bien que cet indicateur de pollution soit intégré dans les indices de qualité de l'air et qu'il fasse l'objet d'arrêtés préfectoraux pour l'information des populations en cas de dépassement se seuils d'information et d'alerte). La prévision des concentrations en dioxyde de soufre est en effet rendue très complexe par les effets de panache, ayant pour la plupart des cas une origine industrielle. Il faudrait, afin de prévoir convenable le dioxyde de soufre pouvoir disposer, a priori, du détail des procédés mis en œuvre ou des combustibles prévus d'être utilisés pour les journées J, J+1 et J+2. La prise en compte des dysfonctionnements et incidents, souvent à l'origine de pics de dioxyde de soufre, ne peuvent évidemment, quant à eux, pas faire l'objet de prévision (ce constat peut également être vrai pour d'autres polluants pris en compte dans ces travaux).

Les résultats sont fournis en concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou en indice de la qualité de l'air (health indice relative aux effets sanitaires).

La résolution en sortie est de 200 m x 200 m (cette résolution a été ramenée à 100 m x 100 m dans le cadre des travaux réalisés sur Strasbourg).

Afin de pouvoir fonctionner sur Strasbourg de manière optimisée, de nombreuses évolutions ont été apportées au système en fonctionnement sur Londres, en particulier concernant les conditions aux limites. En effet, les conditions aux limites calculées à Londres se basent sur un modèle statistique (rural predictor) qui prend en compte l'historique des conditions météorologiques et des conditions de bord associées. Ce modèle statistique a également été testé sur Strasbourg (sur un historique de 4 ans) mais l'utilisation de Prev'air, puis d'Atmo-rhénA (à l'exception des particules pour des raisons de délai de mise à disposition) s'est avérée plus pertinente pour la fourniture des conditions aux limites ; d'autant plus que l'assimilation de données de concentrations (cf. travaux développés dans ce rapport) permet d'entrevoir une amélioration significative des scores de prévision.

Le tableau présenté ci-après liste les développements qui ont été apportés à Urban'air, en particulier dans le cadre d'Airproche afin d'optimiser le modèle de prévision mis en œuvre à Strasbourg.

A noter qu'à la suite de ce programme, l'ASPA poursuit les développements, en particulier méthodologiques sur le modèle afin d'améliorer les scores de prévision, en particulier par la prise en compte d'une pollution de fond (Atmo-rhénA) intégrant une assimilation des données de mesure afin de limiter la dépendance à la qualité des données d'entrée issues de la plateforme nationale de prévision.

<b>Intégration des données d'entrée</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptation des formats pour intégration des données françaises :               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ARPEGE Météo-France pour les données météorologiques</li> <li>○ Atmo-rhénA (plate-forme transfrontalière) ou PREV'AIR pour les conditions de pollution aux limites du domaine d'étude</li> </ul> </li> <li>• Calcul des données de pollution de fond à partir des conditions aux limites (cf. ci-dessus) alors que les travaux conduits par le CERC sur Londres utilisent un modèle statistique</li> </ul>
<b>Rapportage des données – résultats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intégration des seuils réglementaires français</li> <li>• Intégration des indices et sous-indices français de qualité de l'air</li> <li>• Mise en place de cartographies dynamiques reprenant la charte graphique ATMO</li> <li>• Mise en place de tableau de rapportage des indices de qualité de l'air pour l'utilisation quotidienne par les diffuseurs et prévisionnistes</li> <li>• Module de calcul des scores en cours de développement</li> </ul>
<b>Interface utilisateur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimisation de l'interface utilisateur, avec notamment le développement d'un "tableau de bord" permettant une meilleure organisation des runs et des transferts, une planification facilitée des différentes automatisations (téléchargement des données d'entrée / calcul des indices / transfert sur un site internet), et une consultation en temps réel des tâches effectuées et à venir</li> </ul>
<b>Outil de mise à disposition des résultats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité de transférer les résultats sur un serveur de partage</li> <li>• Développement d'une interface du site internet plus dynamique avec notamment possibilité de zoomer sur une zone</li> <li>• Affichage de l'indice de la qualité de l'air de la zone survolée par la souris</li> </ul>

### III. Paramètres étudiés

Les paramètres retenus pour l'étude sont :

1/ **pour l'information quotidienne**, ceux correspondant aux polluants repris pour le calcul de l'indice de qualité de l'air en référence à l'indice national ATMO (arrêté du 10 janvier 2000 relatif à l'indice de la qualité de l'air) à l'exception du dioxyde de soufre. Les polluants concernés sont le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les particules en suspension (PM<sub>10</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>).

2/ **pour l'information lors des dépassements**, les polluants retenus sont ceux qui font l'objet d'un déclenchement de procédure d'information à la population et d'alerte dans les arrêtés préfectoraux relatifs à l'information de la population du Bas-Rhin (arrêtés préfectoraux du 9 juin 2004) à l'exception du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Les polluants concernés sont le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les particules en suspension (PM<sub>10</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>).

3/ **pour une éventuelle réalisation des bilans annuels**, les polluants retenus dans le décret du 15 février 2002 (mise à jour et évolution du décret du 6 mai 1998) : dioxyde de soufre – SO<sub>2</sub>, dioxyde d'azote – NO<sub>2</sub>, particules en suspension PM<sub>10</sub>, ozone – O<sub>3</sub>, monoxyde de carbone – CO, benzène – C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>.

A noter qu'ultérieurement, les particules PM<sub>2,5</sub> seront également prises en compte dans le cadre de la future directive CAPE.

#### **IV. Déroulement de l'évaluation et perspectives**

La coopération entre l'ASPA et NUMTECH pour l'évaluation du modèle a commencé au début de l'année 2005.

##### **Mise en place de la plate forme de modélisation...**

L'ASPA a effectué une simulation ADMS Urban sur l'agglomération de Strasbourg calée à partir des données de qualité de l'air issues des stations de mesure. Cette simulation permet de calculer un indice de la qualité de l'air à l'échéance J-1 et de réaliser un bilan annuel de qualité de l'air.

##### **Mise en place de la plate forme de prévision...**

L'ASPA a effectué des simulations avec les données de prévision PREVAIR. Les résultats ont été envoyés à NUMTECH qui teste parallèlement des simulations utilisant le modèle statistique Rural Predictor en entrée.

D'ici la fin de l'année 2005, la plate forme devrait être opérationnelle en prévision. Elle utilisera donc dans un premier temps les données PREVAIR ou Rural Predictor.

Par la suite, les résultats de prévision du modèle CHIMERE Régional seront utilisés lorsque celui-ci sera calé et opérationnel (programme INTERREG III). Des premiers essais avec une pollution de fond issue de ce modèle ont fourni des résultats intéressants.

De plus, une coopération entre l'ASPA, NUMTECH et GEOVARIANCE dans le cadre du projet AIRPROCHE pourrait déboucher sur une amélioration de la prévision par une assimilation des données des stations de mesure.

Plus en amont, l'ASPA participe à un projet de recherche sur la spatialisation de pollution de l'air piloté par le laboratoire Image et Ville de l'université Louis Pasteur de Strasbourg.

Enfin, ce travail pourrait à terme, si le projet voit le jour, bénéficier des enseignements tirés d'une étude prévue par le laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) sur la prise en compte de variables explicatives pour l'affinement de la spatialisation de la pollution obtenue par les modèles.

## V. Données d'entrée et calage du modèle ADMS Urban à l'ASPA

### 1. Choix des données d'entrée

Le choix des données d'entrée est primordial. Pour cette modélisation au niveau horaire, les émissions doivent être le plus détaillées possible aussi bien spatialement que temporellement. Les données météorologiques et de pollution de fond doivent correspondre au mieux aux conditions observées sur l'agglomération de Strasbourg. La topographie et la rugosité n'ont pas été introduites dans cette modélisation car ce sont des paramètres assez homogènes sur l'ensemble de la zone étudiée.

#### a) Les émissions

Les émissions utilisées correspondent à l'année 2001 (carte 1).

Les sources prises en compte sont :

- des sources linéaires
  - le transport routier (axes principaux)
- des sources surfaciques
  - le transport routier (trafic diffus)
  - le résidentiel tertiaire
- des sources ponctuelles correspondant aux industries soumises à la TGAP

Le reste des sources est pris en compte dans un cadastre des émissions qui couvre l'ensemble de la zone d'étude.

Des profils temporels ont été attribués à certaines des sources pré-citées.

#### b) les données météorologiques

Ces données prennent en compte la vitesse et la direction du vent, la température et la nébulosité.

Les données de la station Météo France de Strasbourg Entzheim ont été utilisées pour le calage de l'échéance J-1.

Afin d'optimiser l'utilisation finale du modèle en mode prévision, une vérification a été effectuée en comparant les résultats obtenus à partir de données météorologiques mesurés et prévus. Le test s'est avéré concluant.

Pour cette étude, les résultats présentés sont réalisés avec les données météorologiques mesurés pour J-1 et avec les données météorologiques du modèle Météo France ARPEGE pour les prévisions J, J+1 et J+2.

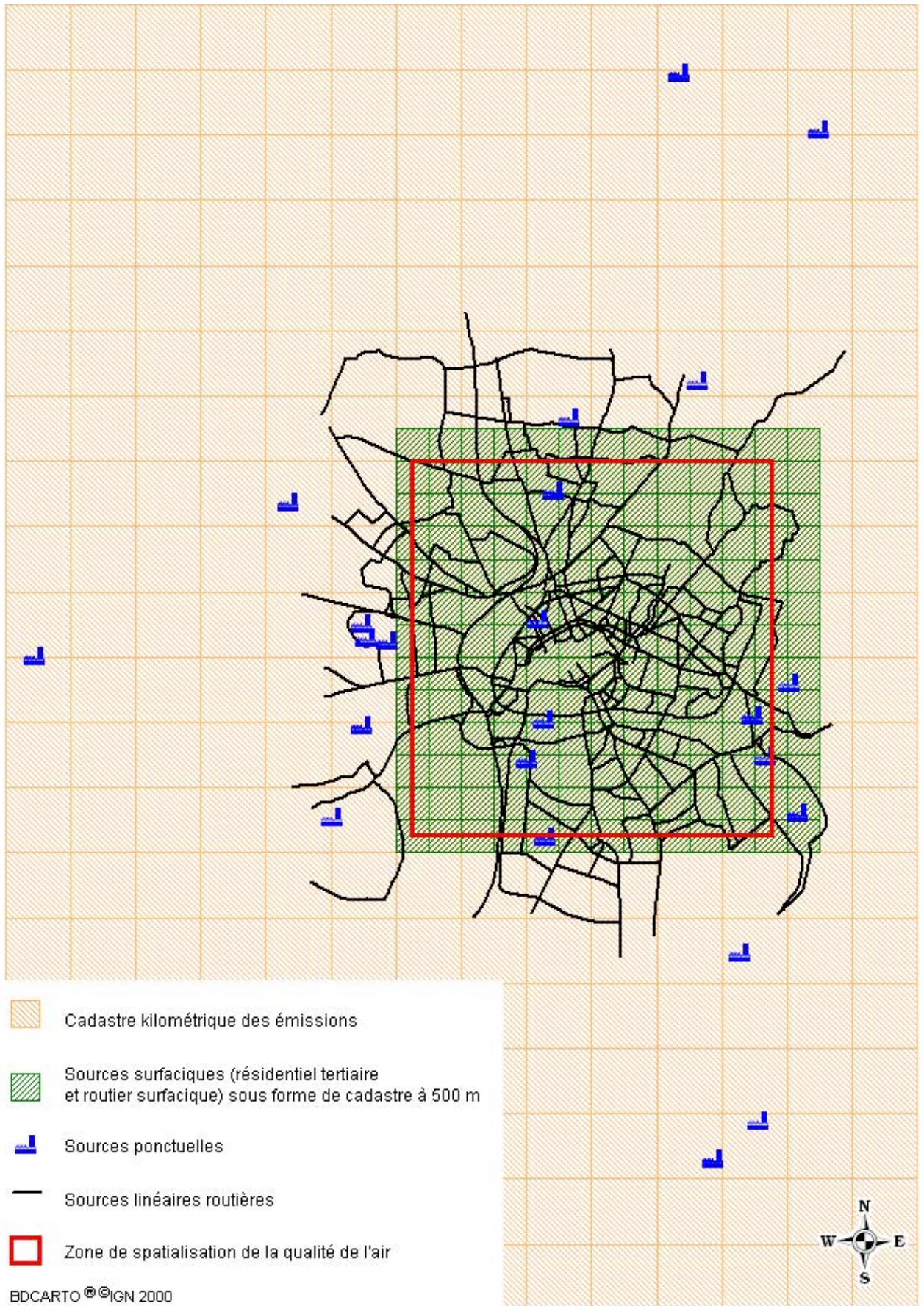
#### c) les données de pollution de fond

La pollution de fond joue un rôle prépondérant pour certains polluants dits régionaux comme l'ozone voire les particules.

Le calage du modèle a surtout porté sur cette donnée. Il s'est agi de trouver la pollution de fond la plus adaptée pour modéliser la partie centre de l'agglomération de Strasbourg.

Ces données de fond sont le fruit d'un grand nombre d'essais simulés. Elles seront prises en compte pour la simulation à J-1.

Pour la prévision à J, J+1 et J+2, en attendant les données CHIMERE Régional, ce sont les prévisions de la maille strasbourgeoise de PREVAIR qui sont utilisées.



Carte 1 : Emissions utilisées pour la modélisation

## 2. Historique du calage

La calage du modèle a été effectué sur une période allant du 28 mars 2004 au 8 mai 2005.

Les résultats du modèle sur cette période ont été comparés aux mesures de 5 stations de l'ASPA :

- Strasbourg Ouest (périurbaine)
- Strasbourg Nord (urbaine en périphérie de la ville)
- Strasbourg Centre (urbaine)
- Strasbourg Est (urbaine)
- Strasbourg Clemenceau (trafic)

Ces 5 stations, de par leurs typologies différentes, permettent de caler l'ensemble des paramètres du modèle.

En effet, les stations Centre et Est permettent de comparer les résultats du modèle à des mesures urbaines au sein du domaine étudié. Les stations Nord et Ouest vérifient le modèle en périphérie de la zone d'étude. Enfin, la station Clemenceau permet de situer la simulation par rapport à la pollution de proximité automobile.

Différentes manettes peuvent être actionnées pour caler le modèle :

- Les émissions et leurs profils temporels associés
- La pollution de fond
- Les paramètres du modèle (rugosité, présence de canyon...)

### a) Les émissions

Sur une ville comme Strasbourg, il existe une multitude de sources d'émission. Comme le modèle ADMS Urban est limité en nombre de sources, il a fallu choisir entre les différentes sources pour extraire celles qui contribuaient le plus à la pollution sur la ville.

L'outil Emiss'air de l'ASPA a été utilisé dans cette optique. Il a permis de classer les sources pour en extraire les plus importantes au niveau de la CUS.

Contribuant le plus à la pollution émise sur l'agglomération strasbourgeoise, les trois grands secteurs d'émission ci-dessous sélectionnés ont ainsi été privilégiés en localisation et en variation temporelle :

- des sources linéaires
  - le transport routier (axes principaux)
- des sources surfaciques
  - le transport routier (trafic diffus)
  - le résidentiel tertiaire
- des sources ponctuelles correspondant aux industries soumises à la TGAP

Le reste des sources est pris en compte dans un cadastre des émissions couvrant l'ensemble de la zone d'étude.

Certaines sources bénéficient de profils temporels afin de coller au mieux aux émissions horaires réelles (figures 1 et 2):

- le transport routier bénéficie d'un profil temporaire construit à partir de données d'une station de comptage SIREDO de la DDE du Bas Rhin. Les trafics horaires de cette station sont le reflet de la situation strasbourgeoise. Cette station fournit des profils horaires et mensuels pour chaque type de jour (jour ouvré, samedi et veille de fête, et dimanche et fête).
- Le résidentiel tertiaire suit un profil mensuel bâti à partir des degrés jours.

Les sources ponctuelles présentent des rejets considérés comme constants.

Durant les premiers runs de modélisation, les émissions 2000 étaient utilisées. Une étape de notre calage a consisté à passer aux émissions 2001 pour se rapprocher temporellement de la situation actuelle.

Les profils temporels ont été également actualisés.

Le changement des émissions et des profils temporels associés a permis de mieux coller à la réalité en faisant baisser les concentrations modélisées de NO<sub>2</sub> et monter celles en ozone.

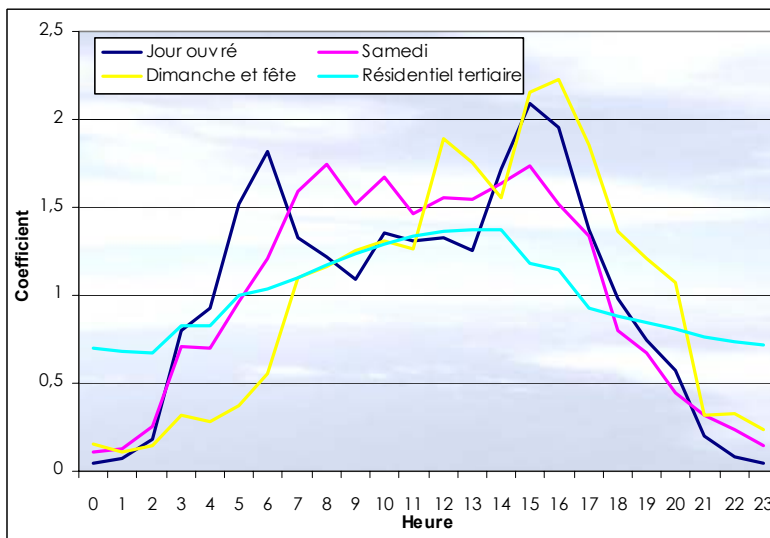
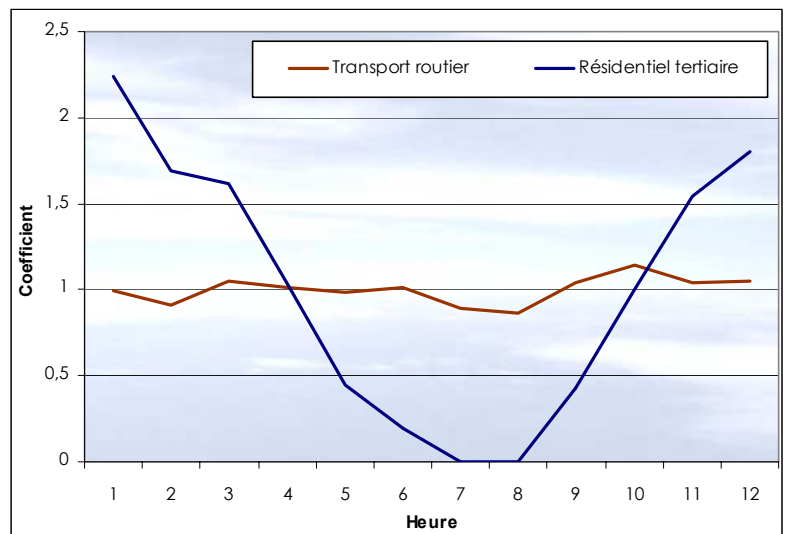


Figure 1 : Répartitions horaires des émissions du transport routier (jour ouvré, samedi, dimanche et fête) et du résidentiel tertiaire

Figure 2 : Répartitions mensuelles des émissions du transport routier et du résidentiel tertiaire



## b) La pollution de fond

Le modèle ADMS a besoin d'une pollution de fond horaire pour la simulation. Elle peut être introduite de deux façons dans le modèle :

- soit en activant la fonction « trajectory model », la pollution de fond est identique en bordure de la zone puis recalculée en tout point du cadastre en fonction des données météorologiques, topographiques et de rugosité ;
- soit en n'activant pas cette option : dans ce cas, la pollution de fond est identique sur toute la zone.

Il est donc nécessaire de trouver la pollution de fond et la façon dont elle est introduite dans le modèle qui permet la modélisation la plus réaliste.

L'ASPA a effectué une vingtaine d'essais différents relatés ci-après :

**Essai 1** : Fond PM10 : Nord Est Alsace  
Fond O3 : Nord Est Alsace  
Fond NO2 et NOx : Nord Est Alsace  
« trajectory model » : oui

**Essai 2** : Fond PM10 : STG Nord  
Fond O3 : STG Nord  
Fond NO2 et NOx : STG Nord  
« trajectory model » : non

**Essai 3** : Fond PM10 : Nord Est Alsace  
Fond O3 : STG Sud  
Fond NO2 et NOx : Nord Est Alsace  
« trajectory model » : oui

**Essai 4** : Fond PM10 : Nord Est Alsace  
Fond O3 : STG Ouest par vent de Nord, STG Sud par vent de Sud  
Fond NO2 et NOx : STG Ouest  
« trajectory model » : oui

**Essai 5** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : STG Ouest  
Fond NO2 et NOx : STG Ouest  
« trajectory model » : non

**Essai 6** : Fond PM10 : STG Nord  
Fond O3 : STG Nord  
Fond NO2 et NOx : STG Nord  
« trajectory model » : oui

**Essai 7** : Fond PM10 : STG Centre  
Fond O3 : STG Centre  
Fond NO2 et NOx : STG Centre  
« trajectory model » : non

**Essai 8** : Fond PM10 : STG Nord par vent de Nord, STG Est par vent de Sud  
Fond O3 : STG Ouest par vent de Nord, STG Sud par vent de Sud  
Fond NO2 et NOx : STG Nord par vent de Nord, STG Est par vent de Sud  
« trajectory model » : non

**Essai 9** : Fond PM10 : STG Nord X 0,95  
Fond O3 : STG Ouest  
Fond NO2 : STG Ouest X 24/26  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 10** : Fond PM10 : STG Nord X 0,9  
Fond O3 : STG Ouest  
Fond NO2 : STG Ouest  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 11** : Fond PM10 : STG Nord X 0,85  
Fond O3 : STG Nord  
Fond NO2 : STG Nord X 24/31  
Pas de NO  
« trajectory model » : non

**Essai 12** : Fond PM10 : STG Nord X 0,8  
Fond O3 : Moyenne (STG Ouest, STG Sud, Nord Est Alsace et STG Nord)  
Fond NO2 : Moyenne (STG Nord, Nord Est Alsace et STG Ouest)  
Pas de NO  
« trajectory model » : non

**Essai 13** : Fond PM10 : Moyenne STG Nord, Nord Est Alsace  
Fond O3 : Moyenne STG Nord, Nord Est Alsace  
Fond NO2 : Moyenne STG Nord, Nord Est Alsace  
Pas de NO  
« trajectory model » : non

**Essai 14** : Fond PM10 : Nord Est Alsace  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest, STG Sud et Nord Est Alsace  
Fond NO2 : Moyenne STG Ouest et Nord Est Alsace  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 15** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO2 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 16** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO2 : Moyenne Nord Est Alsace et STG Nord  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 17** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO2 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO : STG Nord  
« trajectory model » : oui

**Essai 18** : Fond PM10 : STG Nord par vent de Nord et STG Est par vent de Sud  
Fond O3 : STG Sud par vent Sud Ouest, STG Ouest par vent de Nord Ouest, STG Nord par vent de Nord Est et STG Est par vent de Sud Est  
Fond NO2 et NOx : STG Ouest par vent de Nord Ouest, STG Nord par vent de Nord Est et STG Est par vent de Sud  
Fond NO : STG Nord  
« trajectory model » : non

**Essai 19** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne (STG Ouest et STG Nord)  
Fond NO2 : STG Nord  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

**Essai 20** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO2 : STG Nord X 27,5/31  
Fond NO : STG Nord  
« trajectory model » : oui

**Essai 21** : Pas de simulation PM  
Fond O3 : Moyenne STG Ouest et STG Nord  
Fond NO2 : STG Nord X 27,5/31  
Pas de NO  
« trajectory model » : oui

Pour juger ces différents essais, les résultats modélisés en ozone, particules et dioxyde d'azote ont été comparés en 5 points de la zone sur la période de mesure. Ces 5 points correspondent aux 5 stations de mesure de la zone d'étude : STG Centre, STG Est, STG Ouest, STG Nord et STG Clemenceau.

Les sous indices en ozone, particules et dioxyde d'azote ont été reconstitués pour chacune de ces stations à partir des mesures qui y sont effectuées.

Pour chaque essai, une modélisation a été effectuée sur ces 5 points et comme pour la mesure, les sous-indices ont été reconstitués.

Pour juger les différents essais, les sous indices mesurés ont été comparés à ceux modélisés.

L'ozone et le dioxyde d'azote sont des polluants ayant des interactions chimiques entre eux. L'essai le plus convaincant sera celui qui donnera de bons résultats pour les deux polluants et pas un bon résultat pour l'ozone et un moins bon pour le NO<sub>2</sub> ou vice versa.

L'essai 15 s'est montré le plus convaincant pour l'ozone et le dioxyde d'azote alors que pour les particules, l'essai 9 s'est montré le plus proche de la réalité (figures 3, 4 et 5).

La pollution de fond prise en compte pour la simulation J-1 est donc une moyenne des données des stations Strasbourg Ouest et Strasbourg Nord pour l'ozone et le NO<sub>2</sub> et les mesures de la station Strasbourg Nord multiplié par 0,95 pour les particules.

Avec cette pollution de fond, les résultats sont très bons en ozone et très bons à bons en particules mais restent moyens en dioxyde d'azote (tableau 1). L'indice modélisé est dans la plupart des cas compris dans un intervalle de +/- 1 par rapport à l'indice mesuré.

	STG Centre			STG Nord			STG Est			STG Ouest		STG Clemenceau	
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10
Indice modélisé < Indice mesuré	7%	13%	17%	15%	2%	0%	5%	18%	22%	16%	6%	13%	7%
Indice modélisé = indice mesuré	78%	57%	76%	81%	44%	76%	75%	39%	67%	78%	60%	48%	60%
Indice modélisé > indice mesuré	15%	30%	7%	4%	54%	24%	20%	43%	11%	6%	34%	39%	33%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>100%</b>	<b>96%</b>	<b>99%</b>	<b>100%</b>	<b>92%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>90%</b>	<b>93%</b>	<b>100%</b>	<b>99%</b>	<b>92%</b>	<b>98%</b>

Tableau 1 : Récapitulatif des comparaisons des simulations avec les mesures

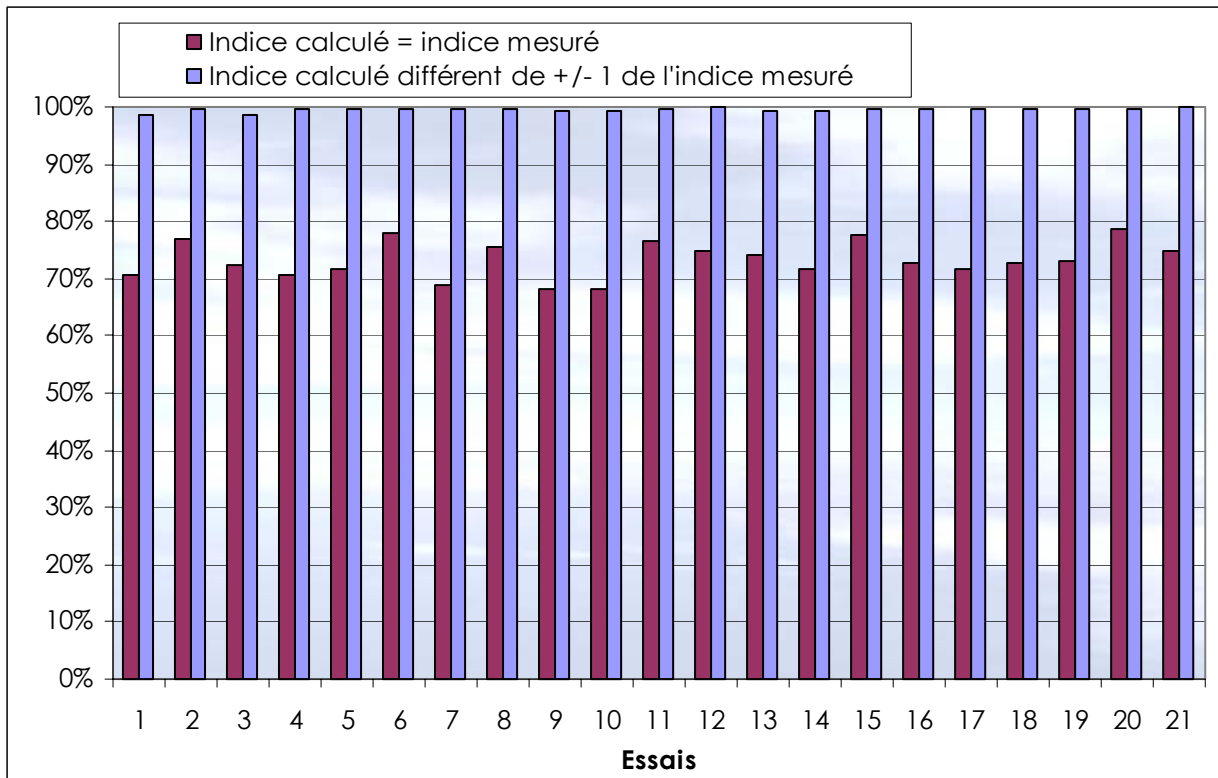


Figure 3 : Récapitulatif des résultats de l'ensemble des essais pour la station STG Centre en ozone

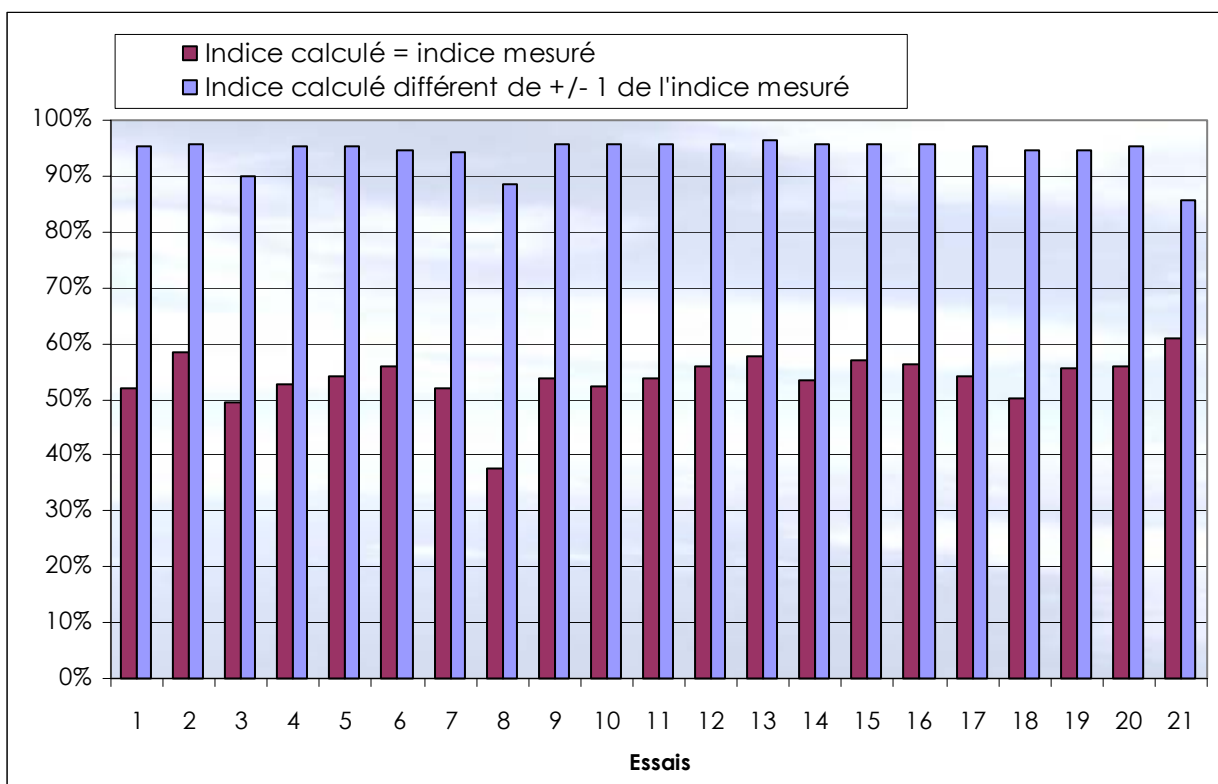


Figure 4 : Récapitulatif des résultats de l'ensemble des essais pour la station STG Centre en dioxyde d'azote

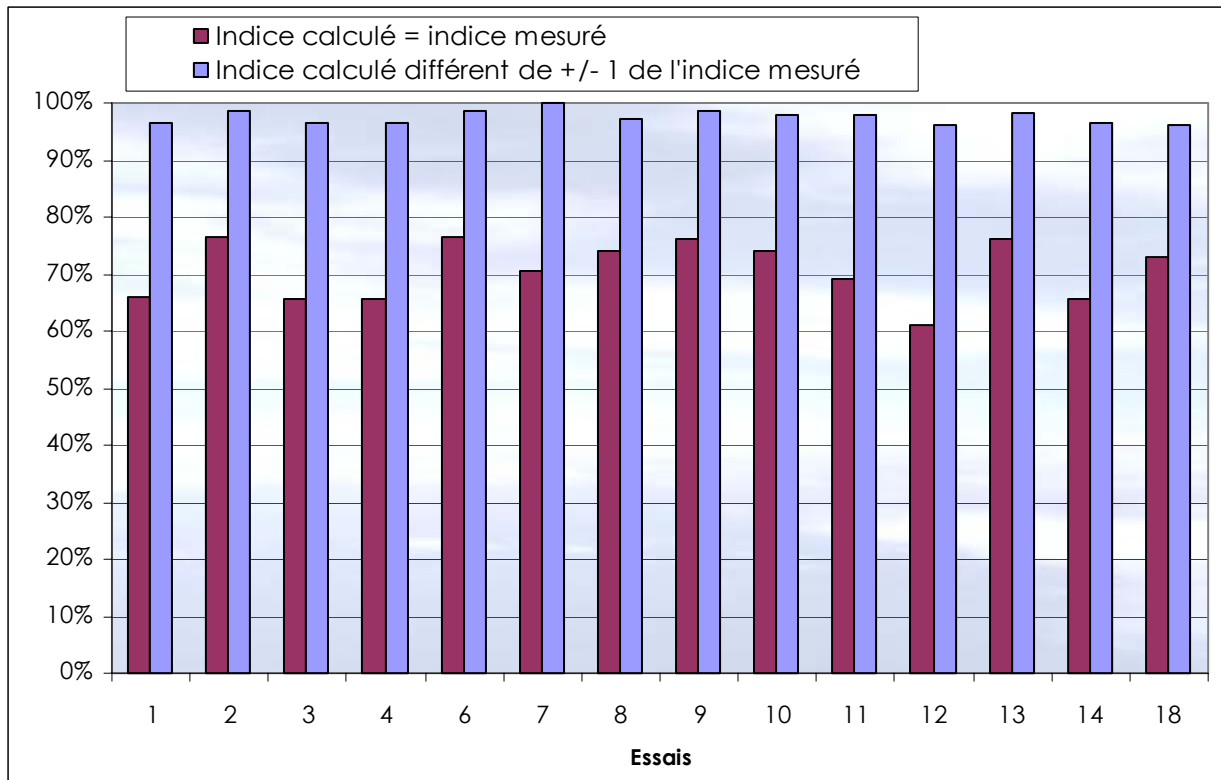


Figure 5 : Récapitulatif des résultats de l'ensemble des essais pour la station STG Centre en particules PM10

### c) Les paramètres du modèle

La dernière phase du calage consiste à jouer sur les paramètres du modèle. Il est possible d'influer sur nombre d'entre eux comme la rugosité, le modèle numérique de terrain, la présence d'une rue canyon, etc.

La rugosité est un paramètre jouant sur les conditions de dispersion des polluants. Sur les premiers runs, une rugosité de 0,7 était utilisée sur l'ensemble de la zone. Cette rugosité correspondait à celle rencontrée dans une ville moyenne. Pour mieux coller aux spécificités d'une agglomération, la rugosité a été réévaluée et fixée à 0,9, valeur plus en adéquation avec celle rencontrée dans une grande ville comme Strasbourg. Ce changement de rugosité a entraîné une amélioration des résultats.

Pour mieux appréhender la pollution en proximité automobile, certaines rues ont été requalifiées en rues canyons, en particulier au centre de Strasbourg.

Les options d'utiliser un modèle numérique de terrain et une grille de rugosités différenciées n'ont pas été retenues car l'expérience montre que pour une telle utilisation, elles alourdissent le temps de calcul sans apport qualitatif au niveau des résultats.

### d) Derniers réglages

Les tests précédents ont été réalisés sur une dizaine de points. Pour effectuer une cartographie de la pollution sur Strasbourg, le modèle tourne sur environ 6 000 points posant alors un problème au niveau du temps de calcul qui a été limité en réduisant la taille du cadastre.

Les résultats restent sensiblement les mêmes que précédemment (tableau 2).

Il y a néanmoins une tendance qui ressort de ces résultats : une surestimation du modèle en dioxyde d'azote. Pour l'ozone et les particules les résultats sont souvent très bons et aucune tendance n'est relevée.

	STG Centre			STG Nord			STG Est			STG Ouest		STG Clemenceau	
	O3	NO2	PM10	O3	NO2	PM10	O3	NO2	PM10	O3	NO2	NO2	PM10
Indice modélisé < Indice mesuré	6%	20%	18%	15%	2%	0%	5%	23%	25%	19%	9%	17%	8%
Indice modélisé = indice mesuré	74%	56%	76%	82%	50%	79%	76%	39%	66%	77%	62%	50%	61%
Indice modélisé > indice mesuré	20%	24%	6%	3%	48%	21%	19%	38%	11%	4%	29%	33%	31%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>100%</b>	<b>96%</b>	<b>98%</b>	<b>100%</b>	<b>95%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>91%</b>	<b>93%</b>	<b>100%</b>	<b>98%</b>	<b>90%</b>	<b>98%</b>

Tableau 2: Récapitulatif des comparaisons finales des simulations avec les mesures

### 3. Conclusion du chapitre V

L'ozone et les particules affichent des résultats très bons. Seul le dioxyde d'azote a tendance à être surestimé par le modèle.

Le modèle répond bien dans 3 cas sur 4 pour l'ozone et les particules sur l'ensemble de la zone d'étude. Le cas restant se trouvant à plus ou moins 1 sous-indice de la réalité.

Le dioxyde d'azote fut le polluant le plus dur à caler. Il s'est fait progressivement. Lors de la mise en place du modèle, le sous-indice modélisé en NO<sub>2</sub> était correct dans moins de 40% des cas alors que les autres polluants tournaient déjà à 60-70%. En faisant varier la pollution de fond, puis en ajoutant les rues canyons et enfin en fixant la rugosité à 0,9, ce pourcentage s'est amélioré pour atteindre les 50 à 60%, y compris le long des axes routiers.

Ce polluant est très dépendant des émissions routières, d'où les difficultés rencontrées au niveau des stations Strasbourg Clemenceau et Strasbourg Est (qui a changé d'environnement en 2004 suite à l'ouverture du pont du Danube).

Les résultats sont maintenant bons à moyens avec un sous-indice juste dans 1 cas sur 2 et un sous-indice compris dans une fourchette de plus ou moins 1 par rapport au sous-indice réel dans plus de 90% des cas.

## VI. Evaluation de la plate forme de prévision

Pour évaluer la plate forme de prévision, les résultats de modélisation sont comparés aux données mesurées aux stations ASPA. Dans ce chapitre, une attention particulière est accordée à la station Strasbourg Centre pour laquelle des résultats par tranche d'indice et des tendances seront proposés. Le bilan en indice pour les autres stations figure également dans cette étude.

Cette évaluation couvre les périodes du 28 mars 2004 au 8 mai 2005 pour J-1, du 1<sup>er</sup> décembre 2004 au 30 septembre 2005 pour l'ozone et le NO<sub>2</sub> pour J et J+1 et du 1<sup>er</sup> juin 2005 au 30 septembre 2005 pour les particules pour J et J+1.

La pollution de fond utilisée pour le calcul à J-1 provient des stations de mesure et la météo est issue des données SOL de Météo-France. Pour les prévisions à J et J+1, le modèle utilise les données de PREVAIR pour les conditions aux limites et les ARPEGE de Météo France.

Les polluants pris en compte dans cette évaluation sont le dioxyde d'azote, l'ozone et les particules PM<sub>10</sub>. Chacun de ces polluants fait l'objet d'une évaluation à J-1, J et J+1 en comparant les sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés ainsi que les tendances.

Aucune évaluation n'est effectuée pour J+2 car les prévisions météorologiques à cette échéance n'étaient alors pas disponibles.

La prévision à J+2 sera toutefois intégrée en mode opérationnel en prenant les prévisions météorologiques issues du modèle ARPEGE avec un pas de temps de 6 heures.

### 1. L'ozone

#### a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés

Pour J-1, les concentrations maximales utilisées pour le calcul des sous-indices modélisés sont assez proches de celles mesurées avec des écarts moyens inférieurs à 15 µg/m<sup>3</sup> (figure 6). Dans 74 à 82% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice mesuré (tableau 3). Pour le reste, le sous-indice modélisé se trouve toujours à plus ou moins une unité du sous-indice mesuré.

Ces résultats sont meilleurs en ne considérant que la période estivale d'avril à septembre avec 76 à 84% des cas où le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure aux stations.

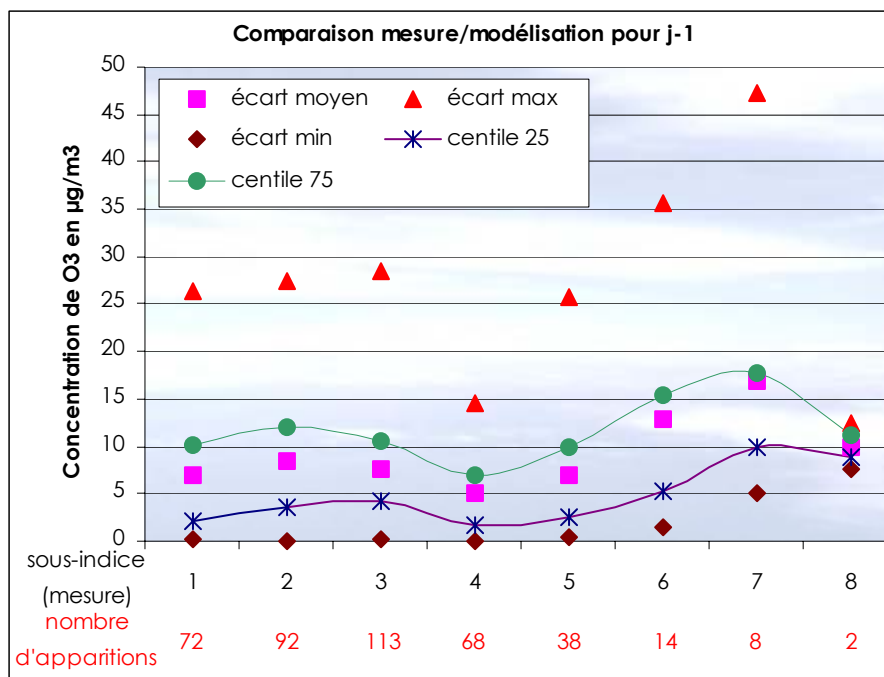


Figure 6 : Ecart des concentrations maximales journalières en ozone entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J-1 sur la station STG Centre

	STG Centre		STG Nord		STG Est		STG Ouest	
	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival
Indice modélisé < Indice mesuré	6%	9%	15%	16%	5%	4%	19%	20%
Indice modélisé = indice mesuré	74%	75%	82%	83%	76%	76%	77%	78%
Indice modélisé > indice mesuré	20%	16%	3%	1%	19%	20%	4%	2%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Tableau 3 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour l'ozone à l'échéance J-1

Pour la prévision du jour J, les écarts moyens entre les concentrations maximales journalières mesurées et prévues sont plus importants mais restent globalement inférieurs à 20 µg/m<sup>3</sup> à l'exception des cas où le sous-indice mesuré est de 1 (figure 7). Pour ce dernier, la pollution de fond issue de PREVAIR surestime souvent la réalité.

Les résultats sont meilleurs de 1 à 5% si l'indice 1 n'est pas pris en compte ou en travaillant uniquement sur la période estivale.

Dans 44 à 55% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 4). Dans 93 à 97% des cas, ce sous-indice modélisé se trouve à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

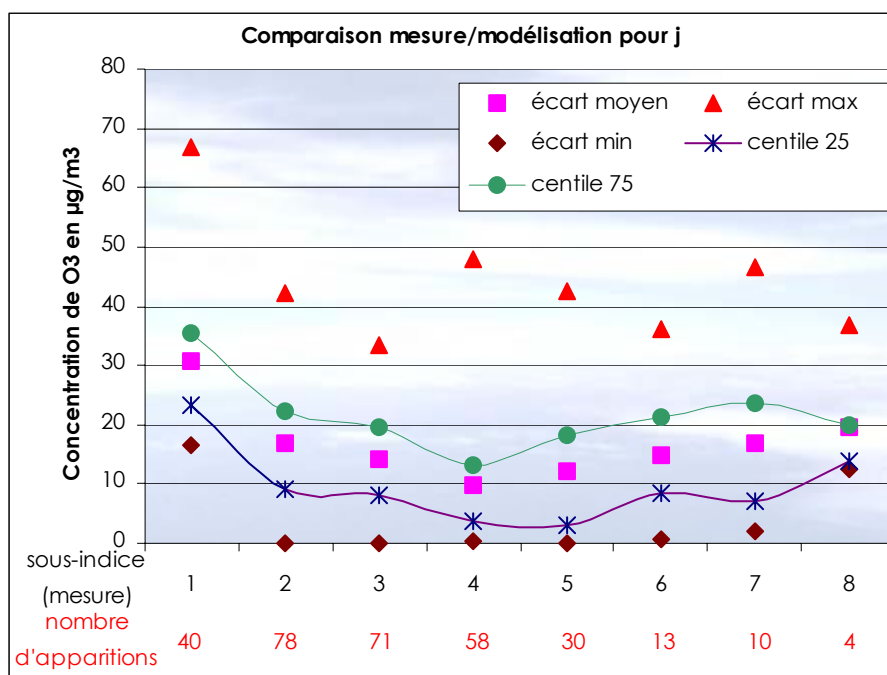


Figure 7 : Ecart des concentrations maximales journalières en ozone entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J sur la station STG Centre

	STG Centre			STG Nord			STG Est			STG Ouest		
	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1
Indice modélisé < Indice mesuré	46%	39%	41%	28%	23%	22%	45%	44%	40%	27%	22%	22%
Indice modélisé = indice mesuré	44%	45%	46%	50%	49%	54%	44%	42%	47%	55%	60%	59%
Indice modélisé > indice mesuré	11%	16%	13%	22%	28%	24%	11%	14%	12%	18%	18%	19%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>93%</b>	<b>95%</b>	<b>95%</b>	<b>96%</b>	<b>97%</b>	<b>97%</b>	<b>93%</b>	<b>92%</b>	<b>94%</b>	<b>97%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>

Tableau 4 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour l'ozone à l'échéance J

Pour la prévision du jour J+1, les écarts moyens entre les concentrations maximales journalières mesurées et prévues sont plus importants que pour les autres échéances mais restent globalement inférieurs à 30 µg/m<sup>3</sup> (figure 8). Comme pour le jour J, le sous-indice mesuré de 1 est souvent surestimé par la modélisation qui utilise PREVAIR en condition de bord.

Les résultats sont meilleurs de 1 à 5% si l'indice 1 n'est pas pris en compte ou en travaillant uniquement sur la période estivale.

Par la suite, le changement de pollution de fond avec l'utilisation des données CHIMERE Régional et l'assimilation des données devraient apporter plus de précision à la prévision.

Dans 40 à 51% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 5). Dans 92 à 97% des cas, ce sous-indice modélisé se trouve à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

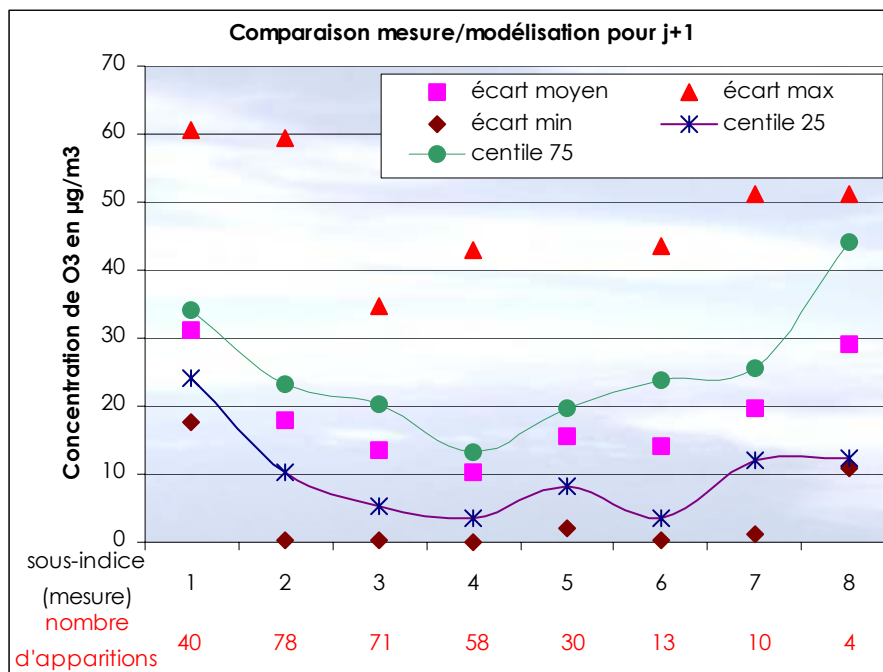


Figure 8 : Ecart des concentrations maximales journalières en ozone entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J+1 sur la station STG Centre

	STG Centre			STG Nord			STG Est			STG Ouest		
	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> estival	O <sub>3</sub> sans indice 1
Indice modélisé < Indice mesuré	46%	37%	39%	28%	21%	21%	43%	39%	37%	30%	23%	24%
Indice modélisé = indice mesuré	40%	42%	45%	49%	50%	53%	43%	44%	47%	51%	55%	55%
Indice modélisé > indice mesuré	14%	21%	16%	23%	29%	26%	14%	17%	16%	19%	22%	21%
<b>Indice modélisé à +/- 1 de l'indice mesuré</b>	<b>93%</b>	<b>91%</b>	<b>94%</b>	<b>94%</b>	<b>95%</b>	<b>95%</b>	<b>92%</b>	<b>90%</b>	<b>94%</b>	<b>92%</b>	<b>92%</b>	<b>94%</b>

Tableau 5 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour l'ozone à l'échéance J+1

## b) Evaluation de la tendance

Pour la prévision à J la tendance est juste dans 55% des cas (tableaux 6 et 7).

Pour la prévision à J+1, la tendance est juste dans 49% des cas (tableaux 8 et 9).

Au regard de ces résultats, aucune tendance claire à la surestimation ou à la sous estimation n'est observée.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	39	33	5
	Maintien	35	92	33
	Amélioration	7	23	36

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	30	35	5
	Maintien	39	88	38
	Amélioration	12	25	31

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	13%	11%	2%
	Maintien	11%	30%	11%
	Amélioration	2%	8%	12%

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	10%	12%	2%
	Maintien	13%	29%	12%
	Amélioration	4%	8%	10%

Optimiste	21%
<b>Juste</b>	<b>55%</b>
Pessimiste	24%

Optimiste	25%
<b>Juste</b>	<b>49%</b>
Pessimiste	26%

Tableaux 6, 7, 8 et 9 : Tendances de la prévision à J et J+1 en ozone sur la station STG Centre

### c) Comparaison avec PREVAIR

Les résultats PREVAIR sont similaires en ozone à ceux de la modélisation avec ADMS Urban en périphérie de la ville. Au centre ville, aux emplacements des stations Centre et Est, les résultats ADMS sont nettement meilleurs (tableau 10)

PREVAIR fournit une concentration globale en ozone pour l'ensemble de l'agglomération, ce qui explique le peu de changement en périphérie de la zone d'étude suite à la modélisation ADMS. Or, au centre de Strasbourg, la modélisation à l'échelle urbaine a un fort intérêt puisqu'elle permet la prise en compte de la pollution de proximité (essentiellement automobile) avec une fine résolution.

Les perspectives à venir d'utiliser une pollution de fond plus fine issue de CHIMERE Régional et d'assimiler les données de fond aux stations de mesure de l'ASPA devraient fortement améliorer la prévision urbaine.

Les tendances de PREVAIR sont pratiquement les mêmes que pour la modélisation urbaine avec des tendances juste à 52 et 46% respectivement pour j et J+1. Cette similarité s'explique par le fait que la donnée PREVAIR est également la donnée de fond utilisée dans la modélisation à l'échelle urbaine.

Echéance		STG Centre		STG Nord		STG Est		STG Ouest	
		O <sub>3</sub> ADMS	O <sub>3</sub> PREVAIR	O <sub>3</sub> ADMS	O <sub>3</sub> PREVAIR	O <sub>3</sub> ADMS	O <sub>3</sub> PREVAIR	O <sub>3</sub> ADMS	O <sub>3</sub> PREVAIR
J	Indice modélisé = indice mesuré	44%	38%	50%	54%	44%	36%	55%	55%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>93%</b>	<b>90%</b>	<b>96%</b>	<b>94%</b>	<b>93%</b>	<b>89%</b>	<b>97%</b>	<b>95%</b>
J+1	Indice modélisé = indice mesuré	40%	34%	49%	49%	43%	33%	51%	52%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>93%</b>	<b>88%</b>	<b>94%</b>	<b>93%</b>	<b>92%</b>	<b>87%</b>	<b>92%</b>	<b>93%</b>

Tableaux 10 : Comparaison des résultats PREVAIR et ADMS en ozone pour les échéance J et J+1

## 2. Les particules PM10

### a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés

Pour J-1, les concentrations moyennes journalières utilisées pour le calcul des sous-indices modélisés sont très proches de celles mesurées avec des écarts moyens inférieurs à 10 µg/m<sup>3</sup> (figure 9). Dans 61 à 79% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice mesuré (tableau 11). Pour le reste, le sous-indice modélisé se trouve dans 93 à 100% des cas à plus ou moins une unité du sous-indice mesuré.

Les stations Clemenceau et Est ont les résultats les moins bons. La station Clemenceau est la plus fortement soumise à la pollution de proximité automobile. Cette pollution décroissant rapidement (sur quelques mètres) avec l'éloignement de la route, les scores de simulation sont plus faibles que pour les stations représentatives de la pollution de fond plus « lissée ».

La Station STG Est a changé d'environnement depuis l'instauration du pont du Danube. La circulation à proximité de cette station a augmenté, ce qui n'est pas pris en compte dans le cadastre des

émissions datant de l'année 2001. Cette station se trouve dans un square. D'autre part, par temps sec, des pics de particules (de sable) sont mesurés mais ce phénomène n'est pas modélisé. Ces 2 faits expliquent le score moins bon observé à cet endroit.

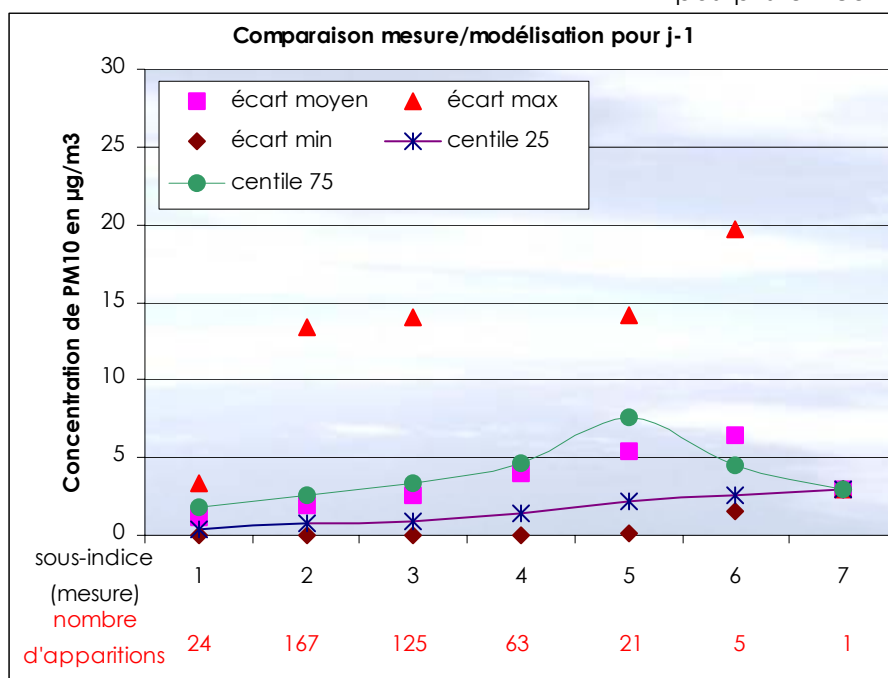


Figure 9 : Ecart des concentrations moyennes journalières en PM10 entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J-1 sur la station STG Centre

	STG Centre	STG Nord	STG Est	STG Clemenceau
	PM10	PM10	PM10	PM10
Indice modélisé < Indice mesuré	18%	0%	25%	8%
Indice modélisé = indice mesuré	76%	79%	66%	61%
Indice modélisé > indice mesuré	6%	21%	11%	31%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>98%</b>	<b>100%</b>	<b>93%</b>	<b>98%</b>

Tableau 11 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour les particules à l'échéance J-1

Pour la prévision du jour J, les écarts moyens entre les concentrations moyennes journalières mesurées et prévues sont plus importants mais restent globalement inférieurs à 20 µg/m<sup>3</sup> (figure 10). La pollution de fond PREVAIR a un profil temporel assez plat qui ne permet pas la simulation de pics de particules, c'est pourquoi plus l'indice est élevé, plus l'écart est élevé.

Dans 45 à 58% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 12). Dans 88 à 99% des cas, ce sous-indice modélisé se trouve à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

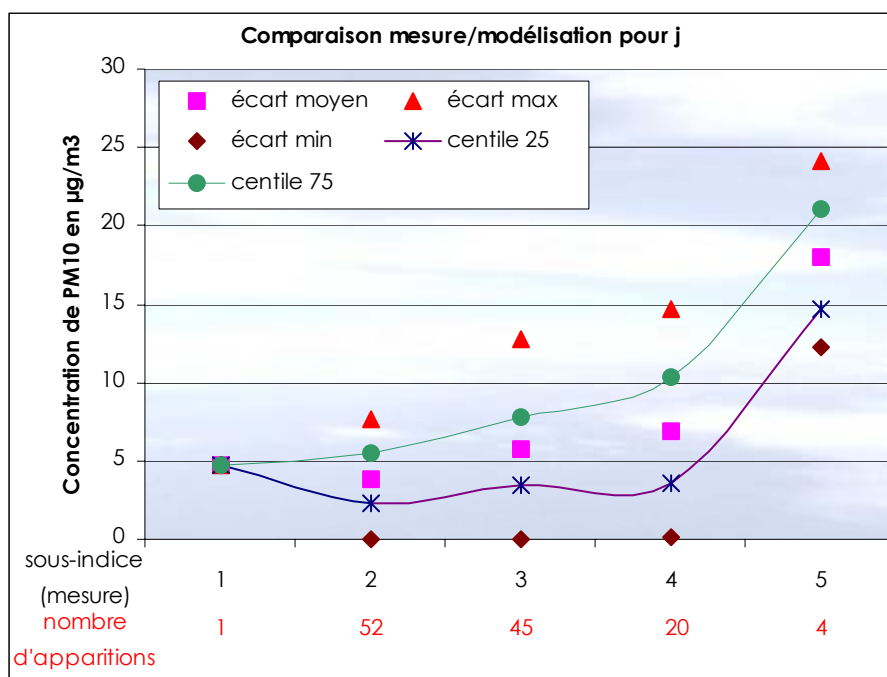


Figure 10 : Ecart des concentrations moyennes journalières en PM10 entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J sur la station STG

	STG Centre	STG Nord	STG Est	STG Clemenceau
	PM10	PM10	PM10	PM10
Indice modélisé < Indice mesuré	16%	28%	15%	32%
Indice modélisé = indice mesuré	45%	58%	47%	50%
Indice modélisé > indice mesuré	39%	14%	38%	18%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>96%</b>	<b>99%</b>	<b>88%</b>	<b>99%</b>

Tableau 12 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour les particules à l'échéance J

Pour la prévision du jour J+1, les écarts moyens entre les concentrations moyennes journalières mesurées et prévues sont sensiblement les mêmes qu'à l'échéance J et restent globalement inférieurs à 15 µg/m<sup>3</sup> (figure 11).

Dans 46 à 57% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 13). Dans 92 à 97% des cas, ce sous-indice modélisé se trouve à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

Les résultats de la prévision des particules sont acceptables. A terme, ils pourraient être améliorés en changeant la pollution de fond PREVAIR par CHIMERE Régional ou RURAL PREDICTOR.

Le fond PREVAIR présente des ordres de grandeur corrects mais il varie peu au cours d'une journée.

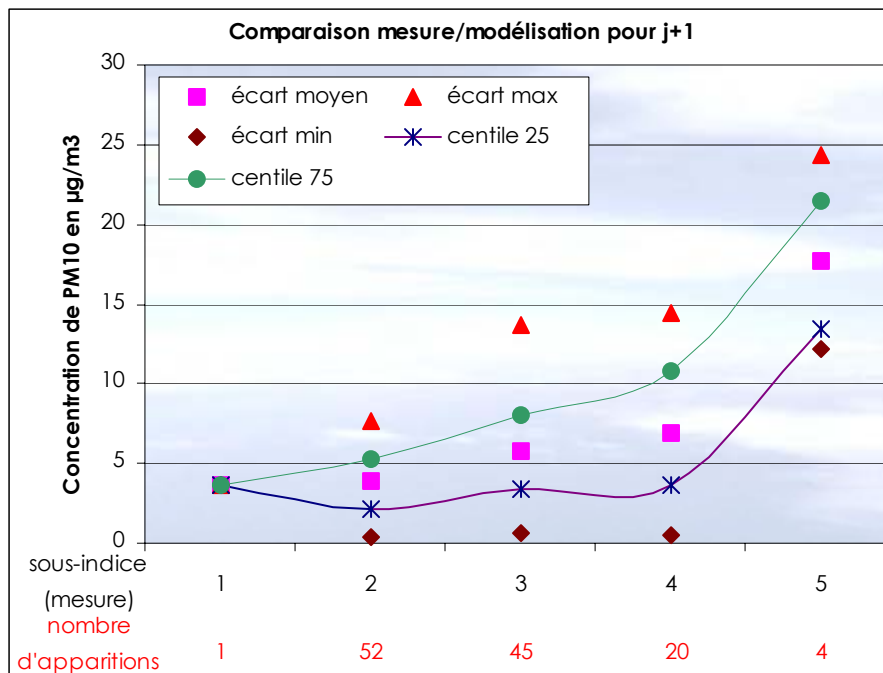


Figure 11 : Ecart des concentrations moyennes journalières en PM10 entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J+1 sur la station STG

	STG Centre	STG Nord	STG Est	STG Clemenceau
	PM10	PM10	PM10	PM10
Indice modélisé < Indice mesuré	16%	30%	15%	31%
Indice modélisé = indice mesuré	46%	57%	48%	51%
Indice modélisé > indice mesuré	38%	13%	37%	18%
<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>96%</b>	<b>100%</b>	<b>87%</b>	<b>99%</b>

Tableau 13 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour les particules à l'échéance J+1

## b) Evaluation de la tendance

Pour la prévision à J, la tendance est juste dans 45% des cas (tableaux 14 et 15).

Pour la prévision à J+1, la tendance est juste dans 43% des cas (tableaux 16 et 17).

Au regard de ces résultats, aucune tendance claire à la surestimation ou à la sous estimation n'est observée.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	10	16	3
	Maintien	15	33	16
	Amélioration	8	9	11

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	9	15	1
	Maintien	15	35	20
	Amélioration	9	8	9

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	8%	13%	2%
	Maintien	13%	28%	13%
	Amélioration	7%	7%	9%

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	7%	12%	1%
	Maintien	12%	29%	17%
	Amélioration	8%	7%	7%

Optimiste	27%
<b>Juste</b>	<b>45%</b>
Pessimiste	28%

Optimiste	27%
<b>Juste</b>	<b>43%</b>
Pessimiste	30%

Tableaux 14, 15, 16 et 17 : Tendances de la prévision à J et J+1 en particules sur la station STG Centre

### c) Comparaison avec PREVAIR

En périphérie de la ville, les résultats PREVAIR sont assez similaires en particules à ceux de la modélisation urbaine. Au centre ville, aux emplacements des stations Centre, Clemenceau et Est, les résultats ADMS sont nettement meilleurs (tableau 18)

A la station trafic Clemenceau, il est possible de juger la plus-value importante qu'apporte le modèle urbain en proximité automobile.

PREVAIR fournit une concentration globale en PM10 pour l'ensemble de l'agglomération, ce qui explique le peu de changement en périphérie de la zone d'étude suite à la modélisation urbaine.

Les perspectives à venir d'utiliser une pollution de fond plus fine issue de CHIMERE Régional et d'assimiler les données de fond aux stations de mesure de l'ASPA devraient fortement améliorer la prévision urbaine.

Les tendances de PREVAIR sont pratiquement les mêmes que pour la modélisation urbaine. Cette similarité s'explique par le fait que la donnée PREVAIR est également la donnée de fond utilisée dans la modélisation à l'échelle urbaine.

Echéance		STG Centre		STG Nord		STG Est		STG Clemenceau	
		PM10 ADMS	PM10 PREVAIR	PM10 ADMS	PM10 PREVAIR	PM10 ADMS	PM10 PREVAIR	PM10 ADMS	PM10 PREVAIR
J	Indice modélisé = indice mesuré	45%	40%	58%	58%	47%	38%	50%	39%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>96%</b>	<b>93%</b>	<b>99%</b>	<b>100%</b>	<b>88%</b>	<b>83%</b>	<b>99%</b>	<b>93%</b>
J+1	Indice modélisé = indice mesuré	46%	43%	57%	54%	48%	42%	51%	45%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>96%</b>	<b>89%</b>	<b>100%</b>	<b>98%</b>	<b>87%</b>	<b>81%</b>	<b>99%</b>	<b>89%</b>

Tableaux 18 : Comparaison des résultats PREVAIR et ADMS en PM10 pour les échéance J et J+1

### 3. Le dioxyde d'azote

#### a) Comparaison des sous-indices issus de la mesure à ceux modélisés

Pour J-1, les concentrations maximales utilisées pour le calcul des sous-indices modélisés sont assez éloignées de celles mesurées avec des écarts moyens inférieurs allant de 10 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (figure 12). Le sous-indice 3, qui est le plus représenté, n'enregistre pas un écart trop élevé.

Dans 39 à 62% des cas, le sous-indice calculé à partir de la modélisation correspond au sous-indice issu de la mesure aux stations (tableau 19).

Pour le reste, dans plus de 90% des cas, le sous-indice modélisé se trouve toujours à plus ou moins une unité du sous-indice mesuré.

Les moins bons résultats sont enregistrés sur la station Strasbourg Est dont le trafic à proximité a augmenté après l'ouverture du pont du Danube

Les résultats sont meilleurs en ne considérant que la période hivernale d'octobre à mars avec 47 à 67% des cas où le sous-indice modélisé correspond au sous-indice mesuré.

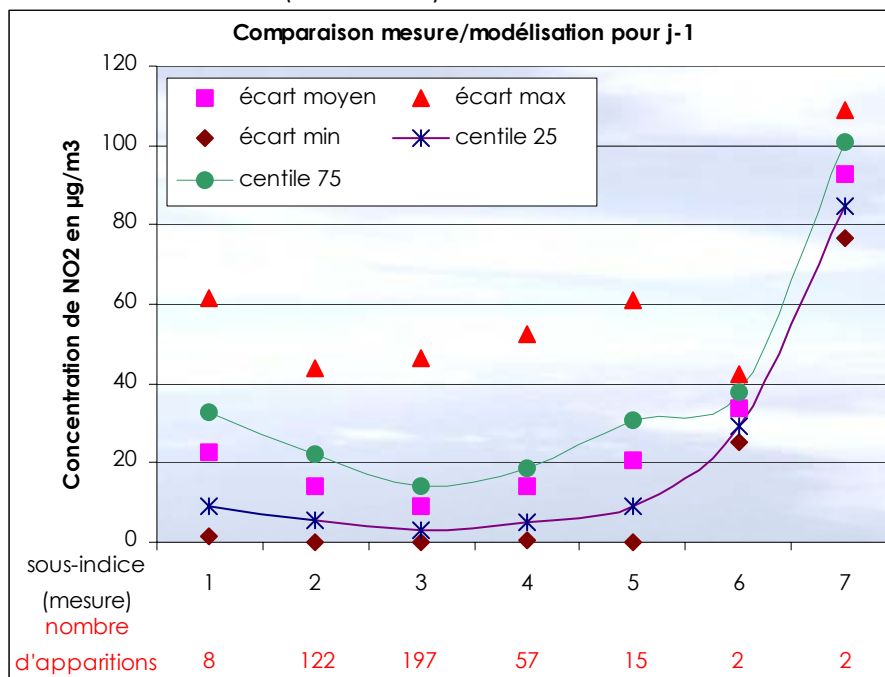


Figure 12 : Ecart des concentrations maximales journalières en dioxyde d'azote entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J-1 sur la station STG Centre

	STG Centre		STG Nord		STG Est		STG Ouest		STG Clemenceau	
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> hivernal	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> hivernal	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> hivernal	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> hivernal	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> hivernal
Indice modélisé < Indice mesuré	20%	18%	2%	3%	23%	23%	9%	5%	17%	21%
Indice modélisé = indice mesuré	56%	65%	50%	67%	39%	47%	62%	75%	50%	53%
Indice modélisé > indice mesuré	24%	17%	48%	30%	38%	30%	29%	20%	33%	26%
<b>Indice modélisé à +/- de l'indice mesuré</b>	<b>96%</b>	<b>97%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>91%</b>	<b>95%</b>	<b>98%</b>	<b>100%</b>	<b>90%</b>	<b>94%</b>

Tableau 19 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour le NO<sub>2</sub> à l'échéance J-1

La prévision du jour J peut être améliorée, les écarts moyens entre les concentrations maximales journalières mesurées et prévues peuvent être importants. Ces écarts sont globalement inférieurs à 60 µg/m<sup>3</sup> et sont en dessous de 20 µg/m<sup>3</sup> pour les sous-indices 1 à 3 (figure 13).

Dans 39 à 45% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 20). Dans 83 à 92% des cas, ce sous-indice modélisé se situe à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

La pollution PREVAIR est inadaptée à notre modélisation car elle sous estime fortement la pollution de fond réelle et se rapproche de concentrations rurales et non urbaines. Les écarts seront corrigés à la suite de la prise en compte des données issues de la plate forme CHIMERE Régional en conditions aux limites.

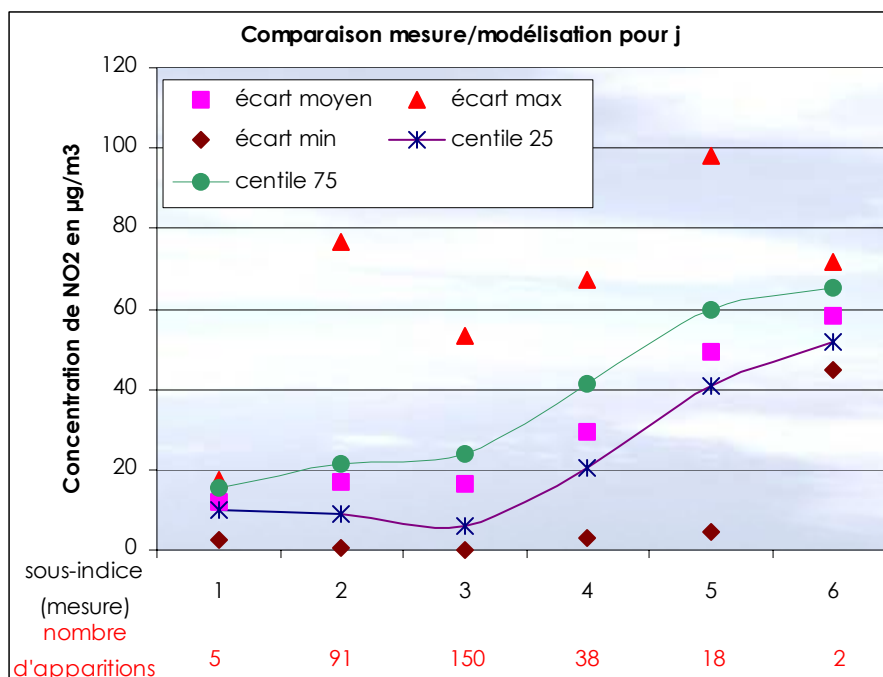


Figure 13 : Ecart des concentrations maximales journalières en dioxyde d'azote entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J sur la station STG Centre

	STG Centre	STG Nord	STG Est	STG Ouest	STG Clemenceau
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
Indice modélisé < Indice mesuré	21%	31%	26%	8%	27%
Indice modélisé = indice mesuré	41%	40%	39%	45%	36%
Indice modélisé > indice mesuré	38%	29%	35%	47%	37%
<b>Indice modélisé à +/- 1 de l'indice mesuré</b>	<b>87%</b>	<b>92%</b>	<b>87%</b>	<b>87%</b>	<b>83%</b>

Tableau 20 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour le dioxyde d'azote à l'échéance J

Comme la prévision au jour J, celle de J+1 sera améliorée en faisant évoluer les conditions aux limites avec des écarts moyens entre les concentrations maximales journalières mesurées et prévues importants se situant entre 15 et 60 µg/m<sup>3</sup> (figure 14).

Par la suite, le changement des conditions aux limites avec l'utilisation des données CHIMERE Régional et l'assimilation des données apportera un gain important à la qualité de la prévision.

Dans 35 à 43% des cas, le sous-indice modélisé correspond au sous-indice issu de la mesure (tableau 5). Dans 83 à 91% des cas, ce sous-indice modélisé se trouve à ± 1 unité du sous-indice issu de la mesure.

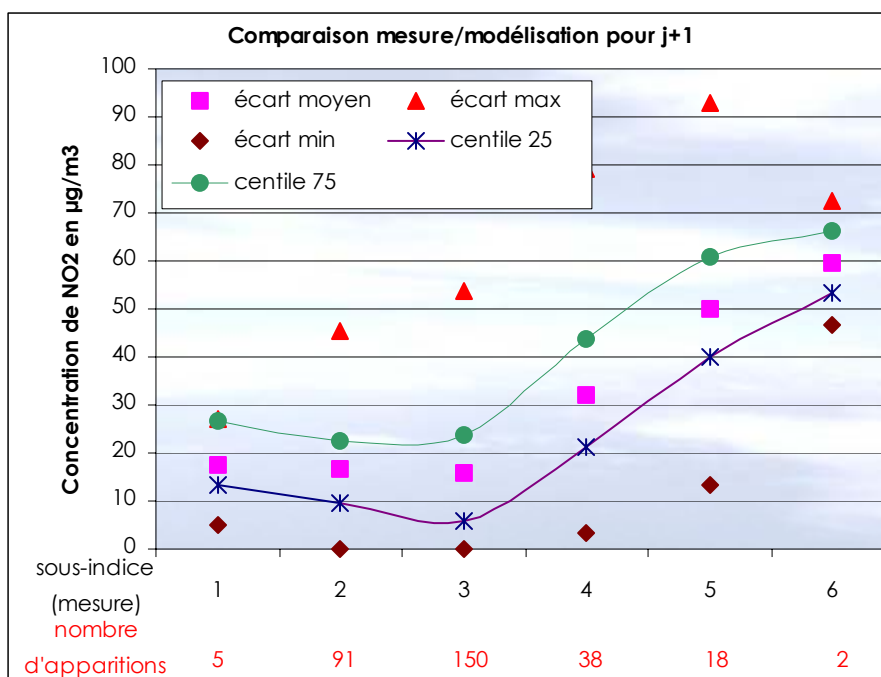


Figure 14 : Ecart des concentrations maximales journalières en dioxyde d'azote entre la mesure et la simulation pour chaque sous-indice pour l'échéance J+1 sur la station STG Centre

	STG Centre	STG Nord	STG Est	STG Ouest	STG Clemenceau
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
Indice modélisé < Indice mesuré	20%	31%	26%	10%	27%
Indice modélisé = indice mesuré	42%	43%	39%	39%	35%
Indice modélisé > indice mesuré	38%	26%	35%	51%	38%
<b>Indice modélisé à +/- 1 de l'indice mesuré</b>	<b>86%</b>	<b>91%</b>	<b>88%</b>	<b>89%</b>	<b>83%</b>

Tableau 21 : Récapitulatif des comparaisons de la simulation avec la mesure pour le dioxyde d'azote à l'échéance J+1

## b) Evaluation de la tendance

Pour la prévision à J, la tendance est juste dans 44% des cas (tableaux 22 et 23).

Pour la prévision à J+1, la tendance est juste dans 42% des cas (tableaux 24 et 25).

Au regard de ces résultats, aucune tendance claire à la surestimation ou à la sous estimation n'est observée.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	27	32	17
	Maintien	35	83	33
	Amélioration	12	41	23

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	21	38	13
	Maintien	46	81	36
	Amélioration	7	37	24

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J	Dégradation	9%	10%	6%
	Maintien	12%	27%	11%
	Amélioration	4%	13%	8%

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à J+1	Dégradation	7%	13%	4%
	Maintien	15%	27%	12%
	Amélioration	2%	12%	8%

Optimiste	29%
<b>Juste</b>	<b>44%</b>
Pessimiste	17%

Optimiste	29%
<b>Juste</b>	<b>42%</b>
Pessimiste	29%

Tableaux 22, 23, 24 et 25 : Tendances de la prévision à J et J+1 en dioxyde d'azote sur la station STG

### c) Comparaison avec PREVAIR

PREVAIR fournit une concentration en dioxyde d'azote correspondant à la maille de 10 km sur 12 km contenant Strasbourg. Avec une résolution aussi grossière, PREVAIR ne peut pas simuler le dioxyde d'azote qui est un polluant présent surtout en agglomération et en proximité des axes routiers.

La modélisation urbaine permet de descendre au niveau de la route et fournit donc une concentration plus fine au niveau de l'agglomération.

Les perspectives à venir d'utiliser une pollution de fond plus fine issue de CHIMERE Régional et d'assimiler les données de fond aux stations de mesure de l'ASPA devraient fortement améliorer la prévision urbaine.

Les tendances de PREVAIR sont pratiquement les mêmes que pour la modélisation urbaine. Cette similarité s'explique par le fait que la donnée PREVAIR est également la donnée de fond utilisée dans la modélisation à l'échelle urbaine.

Echéance		STG Centre		STG Nord		STG Est		STG Ouest		STG Clemenceau	
		NO <sub>2</sub> ADMS	NO <sub>2</sub> PREVAIR	NO <sub>2</sub> ADMS	NO <sub>2</sub> PREVAIR	NO <sub>2</sub> ADMS	NO <sub>2</sub> PREVAIR	NO <sub>2</sub> ADMS	NO <sub>2</sub> PREVAIR	NO <sub>2</sub> ADMS	NO <sub>2</sub> PREVAIR
J	Indice modélisé = indice mesuré	41%	3%	40%	12%	39%	9%	45%	20%	36%	2%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>87%</b>	<b>42%</b>	<b>92%</b>	<b>63%</b>	<b>87%</b>	<b>51%</b>	<b>87%</b>	<b>64%</b>	<b>83%</b>	<b>10%</b>
J+1	Indice modélisé = indice mesuré	42%	3%	43%	12%	39%	8%	39%	20%	35%	2%
	<b>Indice modélisé à +/-1 de l'indice mesuré</b>	<b>86%</b>	<b>39%</b>	<b>91%</b>	<b>62%</b>	<b>88%</b>	<b>50%</b>	<b>89%</b>	<b>62%</b>	<b>83%</b>	<b>10%</b>

Tableaux 26 : Comparaison des résultats PREVAIR et ADMS en dioxyde d'azote pour les échéance J et J+1

## VII. Conditions d'applicabilité à d'autres agglomérations

Les travaux mis en œuvre dans le cadre de cette étude ont nécessité de mettre en œuvre un outil nécessitant des données d'entrées multiples et disparates. Les temps de calcul mis en œuvre requièrent également de pouvoir disposer de moyens informatiques suffisants afin d'assurer la mise à disposition des prévisions assez tôt en cours de journée. Le tableau ci-après liste les conditions d'applicabilité d'Urban'air à d'autres agglomérations.

A noter que le SIVOM de Mulhouse a demandé que le système complet actuellement opérationnel sur Strasbourg soit adapté, calé et appliqué sur la ville de Mulhouse.

En lien avec la comptabilité analytique de l'ASPA, il sera possible à la fin du premier trimestre 2007 (échelonniers des travaux) de faire un retour d'expérience (coûts humain et matériel) du portage de cet outil sur une autre agglomération.

<b>Données requises</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Approche multi-polluants.</li> <li>• Pollution de fond issue de stations de mesure situées en bordure du domaine d'étude pour la simulation du jour J-1 et de modèles déterministes à grande échelle type CHIMERE ou PREVAIR pour la prévision des jours J, J+1 et J+2.</li> <li>• Cadastre d'émissions complet (i.e. pour les différents types de polluants) différencié pour certains secteurs (routier, industriel, résidentiel) intégrant des clés de répartitions temporelles.</li> <li>• Données météorologiques horaires issue de stations de mesure METEO France situées en bordure du domaine d'étude pour la simulation du jour J-1 et de modèles de prévision météorologiques à grande échelle type ARPEGE ou MM5 pour la prévision des jours J, J+1 et J+2.</li> <li>• Mesures de fond et de proximité permettant de valider les résultats de modélisation.</li> </ul>
<b>Hypothèses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle physico-chimique gaussien nouvelle génération pour les sources explicites, imbriqué dans un modèle semi-Lagrangien.</li> </ul>
<b>Résolution spatiale / temporelle</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100m pour Urban'air sur Strasbourg. Il est néanmoins possible de descendre à 50m voire 20m.</li> <li>• Les cartographies de l'indice ATMO et des sous-indices NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM10 sont dérivées des modélisations horaires des concentrations. Il est donc possible de directement modéliser à ce pas de temps.</li> </ul>
<b>Variabilité des niveaux de concentration</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus grande variabilité locale, en raison de la prise en compte des émissions totales maille par maille, sans lissage préalable et du transport routier intégré dans le modèle de façon linéaire.</li> </ul>
<b>Cohérence cartographie / mesures</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour J-1, environ 80% de bonne réponse en O<sub>3</sub> et PM10 et 65% pour le NO<sub>2</sub></li> <li>• Pour la prévision, de 50 à 60% de bonne réponse en O<sub>3</sub> et PM10 et entre 45 et 55% pour le NO<sub>2</sub></li> </ul>

<b>Coût humain de mise en œuvre (personne formée à l'approche)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Environ 35 jours en investissement :<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Préparation des données d'émissions : 5j</li><li>▪ Calage du modèle : 15j</li><li>▪ Réglage de la plate forme : 2j</li><li>▪ Automatisation des fichiers d'entrée : 5j</li><li>▪ Mise en place de la plate forme : 4j</li><li>▪ Rapport : 4j</li></ul></li><li>• En fonctionnement, pas d'unités d'œuvre requises exceptées pour les mises à jour logiciel et les développements complémentaires</li></ul>
<b>Matériel et outils requis</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Temps calcul : environ 3h par jour avec un Bi-processeur.</li><li>• Outil logiciel : ADMS-Urban et Urban'air (cf. tarifs en cours auprès de NUMTECH).</li></ul>

## VIII. Conclusions et perspectives

L'étude de faisabilité technique pour la spatialisation de la prévision quotidienne de la qualité de l'air sur l'agglomération de Strasbourg a donné des résultats globalement satisfaisants et ouvre des perspectives d'utilisation opérationnelle pour la surveillance locale de la pollution de l'air

### **bilan annuel et sous-indice quotidien à J-1...**

Le modèle ADMS Urban a fourni des résultats très bons lors du calage par l'ASPA pour l'ozone et les particules. Ils sont moyens pour le dioxyde d'azote mais restent acceptables.

Ce modèle est un bon outil pour effectuer aussi bien un bilan annuel que pour calculer un indice de qualité de l'air, où encore pour spatialiser la pollution au niveau d'une agglomération comme Strasbourg.

Les panaches limités dans le temps, non pris en compte dans le cadastre des émissions intégré dans le modèle, ne peuvent toutefois pas être correctement simulés. Le modèle rend donc difficilement compte des sous-indices élevés pour les polluants de proximité automobile, en particulier le dioxyde d'azote et dans une moindre mesure les particules. Cette remarque n'est pas applicable à l'ozone de par son caractère régional. Les pics d'ozone sont souvent déjà intégrés dans la pollution de fond.

### **Prévision à J et J+1...**

Les résultats de la prévision sont moins satisfaisants, surtout pour le dioxyde d'azote, en raison de la faiblesse des conditions aux limites issues du système PREVAIR.

Les perspectives à venir d'utiliser une pollution de fond plus fine issue de CHIMERE Régional et d'assimiler les données de fond aux stations de mesure de l'ASPA devraient fortement améliorer la prévision urbaine pour l'ensemble des polluants.

### **Résultats de l'assimilation de données de mesure**

Les scores de prévision sont largement améliorés en intégrant une assimilation des données de mesure du réseau de stations fixes de l'ASPA (cf. rapport Géovariances en annexe).

Ainsi, pour le dioxyde d'azote, les taux de bonne prédiction du sous-indice obtenus sont de l'ordre de 64 à 68%, en considérant que l'on dispose des données du jour J-1 et des dix premières heures de J.

Pour l'ozone, la prévision Prev'air utilisée en conditions de bord, a été complétée par les concentrations maximales observées en début de journée ou à défaut la veille. Le taux de bonne prédiction du sous-indice passe alors de 46% (Prev'Air seul) à 55% (Prev'Air et mesure J-1) voire 60% (Prev'Air et 0-10h J).

### **Intérêt du système URBANAIR...**

L'intérêt de cette modélisation à l'échelle urbaine est d'améliorer la prévision de PREVAIR pour fournir une information pertinente et localisée à chaque habitant de Strasbourg.

L'objectif est atteint comme le montre les différentes comparaisons entre les prévisions PREVAIR et URBANAIR. Elles montrent une amélioration de la prévision en ozone au centre ville et des particules sur l'ensemble de l'agglomération. Le gros intérêt de l'outil URBANAIR se situe également dans la prévision du dioxyde d'azote qui est un polluant d'origine routière variant fortement dans une agglomération. Les prévisions PREVAIR pour la ville de Strasbourg en NO<sub>2</sub> correspondent plus au milieu rural. L'outil URBANAIR intégrant les axes routiers donne une prévision plus fine qui varie en chaque point du centre ville.

Les cartographies finales pourront ainsi être diffusées sur le site internet de l'ASPA. Par ailleurs, les résultats aux stations de mesure pris en compte dans le calcul de l'indice ATMO pourront à terme permettre d'élaborer un indice prévisionnel global à l'usage des diffuseurs prévisionnistes de l'ASPA voire à destination de la population.

Les recherches et études menées par le laboratoire Image et ville et le LCSQA pourront à terme également contribuer à l'amélioration de la spatialisation de la qualité de l'air.

## **ANNEXE :**



# **Assimilation des données de mesure pour la prévision cartographique**

**- GT Air ProCHE -**



**ASSIMILATION DES DONNEES DE MESURE  
POUR LA PREVISION CARTOGRAPHIQUE**

**- GT Air ProCHE -**

**Auteur : Nicolas Jeannée (GEOVARIANCES)**

**Décembre 2005**

**TABLE DES MATIERES**

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
1.1	Contexte.....	3
1.2	Objectif.....	3
<b>2</b>	<b>Méthodologie .....</b>	<b>4</b>
2.1	Données disponibles .....	4
2.2	Détermination statistique de la prédiction pour le jour J.....	4
2.3	Evaluation de la qualité de la prédiction pour le jour J.....	5
2.3.1	Statistiques associées aux erreurs de prédiction des concentrations .....	5
2.3.2	Statistiques associées aux erreurs d'évolution des sous-indices prédits.....	6
2.4	Prédictions à J+1 .....	6
<b>3</b>	<b>Résultats pour le dioxyde d'azote .....</b>	<b>7</b>
3.1	Prédiction à partir de Prev'Air .....	7
3.2	Structure temporelle des mesures de dioxyde d'azote .....	8
3.3	Prédiction à partir de J-1 .....	9
3.4	Prédiction à partir des dix 1 <sup>ères</sup> heures de J .....	10
3.5	Prédiction à partir de J-1 et des dix 1 <sup>ères</sup> heures de J .....	11
3.6	Prédiction à partir de J-1 et des six 1 <sup>ères</sup> heures de J.....	13
3.7	Conclusions et prédictions à J+1.....	14
3.8	Résultats détaillés pour STG Nord et STG Ouest pour J .....	15
3.9	Assimilation horaire pour STG Ouest.....	17
3.10	Assimilation horaire pour STG Nord.....	18
<b>4</b>	<b>Résultats pour l'ozone .....</b>	<b>19</b>
4.1	Prédiction à partir de Prev'Air.....	19
4.2	Structure temporelle des mesures d'ozone.....	20
4.3	Prédiction à partir de J-1 .....	20
4.4	Prédiction à partir des dix 1 <sup>ères</sup> heures de J .....	21
4.5	Prédiction à partir J-1 et de Prev'Air .....	22
4.6	Prédiction à partir de Prev'Air et des dix 1 <sup>ères</sup> heures de J .....	22
4.7	Prédiction à partir de Prev'Air et des six 1 <sup>ères</sup> heures de J.....	23
4.8	Conclusions et prédictions à J+1.....	24
4.9	Résultats détaillés pour STG Nord et Ouest pour J.....	26
4.10	Assimilation horaire pour STG Ouest.....	28
4.11	Assimilation horaire pour STG Nord.....	31
<b>5</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>32</b>
5.1	Contexte et méthodologie .....	32
5.2	Résultats pour le dioxyde d'azote .....	32
5.3	Résultats pour l'ozone .....	33
5.4	Perspectives .....	33
	<b>Annexe : Calcul des indices de qualité de l'air ATMO (doc. ASPA DR-242, V 3.2).....</b>	<b>35</b>

# 1 INTRODUCTION

---

## 1.1 Contexte

Cette étude s'inscrit dans le cadre du groupe de travail Air-ProCHE de l'AFSSET, qui a pour objet de coordonner et de développer une démarche harmonisée de cartographie fine permettant d'identifier les portions du territoire national où les populations sont affectées par des niveaux de pollution atmosphériques supérieurs aux valeurs de référence réglementaires

L'ASPA met en place sur Strasbourg une procédure quotidienne de prévision cartographique de la pollution atmosphérique (sous-indices de qualité de l'air pour le NO<sub>2</sub>, l'O<sub>3</sub> et les PM<sub>10</sub>) pour le jour-même et le lendemain. Cette procédure est basée sur une évaluation quotidienne des émissions, qui sont intégrées dans le modèle ADMS. Ce modèle nécessite en entrée une information relative à la pollution de fond, qui découle aujourd'hui de la plate-forme de prévision Prev'Air et qui découlera de la plate-forme transfrontalière de modélisation et de prévision qui tournera à l'ASPA d'ici à mars 2006. Ces prévisions des concentrations horaires doivent être réalisées pour le jour-même (J), le lendemain (J+1) et le sur-lendemain (J+2). En outre, en vue de la prévision des sous-indices de la qualité de l'air, la procédure doit également permettre de déterminer :

- la moyenne journalière en PM,
- les maxima journaliers en NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>.

Cette procédure de prévision est complétée par une cartographie J-1 (de la veille), obtenue en rentrant dans le modèle ADMS les valeurs de fond issues d'analyseurs automatiques de la façon suivante :

- PM : moyenne STG Nord\*0.95 (la typologie de la station STG Nord n'étant pas suffisamment rurale pour être considérée comme valeur de fond, un coefficient correctif, validé empiriquement, lui est appliqué) ;
- NO<sub>2</sub> : moyenne STG Nord et STG Ouest (le maxima journalier est calculé sur les moyennes, calculées heure par heure, entre les deux stations) ;
- O<sub>3</sub>: moyenne STG Nord et STG Ouest.

Ces choix permettent de restituer correctement les niveaux de concentrations observés par les analyseurs automatiques.

## 1.2 Objectif

La prévision à J, J+1 et J+2 peut être optimisée, en particulier pour les maxima journaliers de NO<sub>2</sub>.

L'objectif de ce travail consiste donc à améliorer les prévisions des maxima journaliers en NO<sub>2</sub>, en assimilant des données de mesures dans les données d'entrée du modèle, c'est à dire en substituant à Prev'Air les mesures observées les jours précédents, voire pendant les premières heures de la journée, avant de communiquer sur la prévision du jour-même.

De la même manière, la prévision des maxima journaliers pour l'ozone par Prev'Air, bien que nettement plus satisfaisante que celle du NO<sub>2</sub>, gagnerait éventuellement à être améliorée en assimilant les mesures déjà disponibles pour le polluant.

## 2 METHODOLOGIE

---

### 2.1 Données disponibles

Nous nous focalisons dans cette étude sur le dioxyde d'azote et l'ozone. Les concentrations horaires de ces polluants sont disponibles pour les cinq analyseurs de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) : Clemenceau (site trafic, ozone non mesuré), Centre, Nord, Ouest et Est.

Nous disposons des concentrations horaires à la fois mesurées par l'analyseur et prévues pour le jour-même et le lendemain par Prev'Air.

Les concentrations horaires maximales en NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> pour la journée sont déduites des concentrations horaires, ainsi que les concentrations horaires maximales sur les six premières et les dix premières heures de la journée. Cela permettra d'évaluer le gain de précision sur la prédiction que l'on peut espérer en attendant quelques heures de plus avant de fournir une prédiction pour le jour J qui intègre les premières heures de la journée.

L'analyse des prédictions est réalisée à partir de résultats acquis sur 10 mois, du 1<sup>er</sup> décembre 2004 au 30 septembre 2005.

La station STG Clemenceau, de type trafic, est également exclue de l'étude du NO<sub>2</sub>, notre objectif étant la prévision de la pollution de fond. Une attention particulière est en outre donnée aux stations STG Nord et Ouest, dont sont déduites les valeurs de fond rentrées dans Prev'Air pour le dioxyde d'azote et l'ozone.

### 2.2 Détermination statistique de la prédiction pour le jour J

Une première approche consiste, en particulier pour le NO<sub>2</sub>, à substituer à la prédiction de Prev'Air pour J la concentration mesurée en J-1 ou en début de journée J.

Ensuite, de façon plus générale, il peut être intéressant d'évaluer l'apport de plusieurs informations disponibles pour la prédiction de la concentration de la journée J : concentration mesurée en J-1, en début de journée J, prévision apportée par Prev'Air pour J.

Ces variables explicatives peuvent être combinées par régression linéaire multiple en vue de prédire le mieux possible les concentrations mesurées en J<sup>1</sup>. Ainsi, à titre d'exemple pour le dioxyde d'azote, à partir des 300 jours disponibles pour une station donnée sur la période d'étude, il est possible d'essayer de prédire la concentration en NO<sub>2</sub> pour J, notée NO<sub>2</sub><sup>J</sup>, en déterminant par moindres carrés les coefficients *a*, *b* et *c* de l'équation suivante :

$$\text{Pred}\{\text{NO}_2^J\} = a * \text{NO}_2^{J-1} + b * \text{NO}_2^{J-0-10h} + c$$

De même, pour l'ozone il serait possible d'envisager la régression suivante :

$$\text{Pred}\{\text{O}_3^J\} = a * \text{O}_3^{J-1} + b * \text{O}_3^{\text{Prevair } J} + c$$

---

<sup>1</sup> Il est préférable, dans cette approche par régression linéaire multiple, que les variables explicatives ne soient pas corrélées. Or, il existe une corrélation entre mesure de J-1 et du début du jour J, ou dans le cas de l'ozone entre prévision issue de Prev'Air pour J et mesure de J-1. Afin de s'assurer que cela ne réduise pas l'intérêt de l'approche, cette dernière a été comparée à une régression linéaire multiple menée sur les deux facteurs (par construction non corrélés) issus d'une analyse en composantes principales sur les deux variables de départ. Les résultats de cette régression sont équivalents à ceux issus de la régression linéaire multiple directe sur les variables explicatives de départ. Par conséquent, nous nous en tenons à cette approche simple.

Lorsque les concentrations du début du jour J sont intégrées, nous intéressant à restituer les maxima horaires sur la journée (pour NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>), les valeurs finalement prédites résulteront du maximum entre les équations précédentes et les mesures horaires déjà disponibles pour la journée J ; en effet, il est évident que la concentration maximale sur une journée doit être supérieure ou égale à la concentration maximale observée au cours des premières heures de la journée.

Précisons que, lorsque nous parlons de NO<sub>2</sub><sup>J</sup> et sauf indication contraire, nous parlons bien systématiquement du maxima journalier en NO<sub>2</sub> pour la journée J.

Ces régressions sont tout d'abord réalisées pour l'ensemble des stations (hors Clemenceau). Ensuite, les résultats les plus probants sont détaillés à la fois pour STG Nord et STG Ouest.

Remarquons qu'il existe des techniques d'assimilation de données plus sophistiquées consistant à construire la prévision J fournie par le modèle physico-chimique à partir de la propagation de la prévision J-1 du modèle et des statistiques associées à l'erreur d'estimation pour J-1. Le modèle est donc ainsi propagé de J-1 à J, avant une phase d'analyse consistant à prendre en compte les observations de J lorsque celles-ci sont disponibles. Par rapport à ces approches, de type « filtre de Kalman »<sup>2</sup>, nous nous contentons ici de corriger la prévision fournie par Prev'Air à partir de l'analyse a posteriori des erreurs de prévision observées. Dans le cas du NO<sub>2</sub>, où la prévision fournie par Prev'Air n'est pas satisfaisante, l'approche est encore plus simple, car elle consiste à évaluer par régression linéaire la concentration en J à partir de J-1 ou du début de J. Les paramètres de la régression sont établis à partir de l'étude, sur une période de 10 mois que l'on pourrait qualifier de période « d'apprentissage », des relations entre variable à prédire (concentrations de J) et variables explicatives (concentrations pour J-1 et les premières heures de J).

## 2.3 Evaluation de la qualité de la prédiction pour le jour J

Il est possible d'évaluer la qualité d'une prédiction pour le jour J en la comparant à la mesure réellement acquise, à la fois en termes de concentrations et de sous-indices. Cette évaluation porte donc sur la comparaison, sur les 10 mois d'étude, entre les prédictions et les valeurs réelles du jour J.

Ensuite, il est également intéressant d'évaluer si l'évolution des sous-indices de J-1 à J est correctement prédite.

### 2.3.1 Statistiques associées aux erreurs de prédiction des concentrations

Pour une prédiction de la concentration du jour J, il est possible de calculer l'erreur commise par rapport à la mesure réellement acquise. Un histogramme de ces erreurs permet d'en analyser la distribution statistique. Les statistiques élémentaire associées (moyenne, écart-type) permettront la comparaison des différentes prédictions envisagées ; l'erreur moyenne permettra notamment d'évaluer le biais éventuel associé à une prédiction, qui pourrait globalement tendre à sur-estimer ou sous-estimer les niveaux de concentration.

Ces erreurs peuvent également être estimées en termes de sous-indice de la qualité de l'air : la prévision pour J évalue-t-elle correctement ce sous-indice ? Au contraire, la prévision tend-elle à tort à sous-estimer l'indice (meilleure qualité de l'air) ou à le sur-estimer (moins bonne qualité de l'air) ?

---

<sup>2</sup> Voir par exemple : Bertino L. & H. Wackernagel, « Prévoir l'état de l'océan : l'assimilation de données intègre observations et modèles numériques », Complément à la rubrique *W<sup>xyz</sup>*, La Recherche, Janvier 2004.

Rappelons que l'indice ATMO décrit, à partir de niveaux de concentrations en polluants atmosphériques mesurés ou modélisés, la qualité de l'air actuelle ou à venir. Nous nous intéressons ici aux sous-indices correspondant au dioxyde d'azote et à l'ozone. Le mode de calcul de ces sous-indices est repris en annexe.

### 2.3.2 *Statistiques associées aux erreurs d'évolution des sous-indices prédits*

Il est par ailleurs intéressant de compléter l'analyse précédente en étudiant l'évolution du sous-indice pour un polluant entre J-1 et J. Trois évolutions du sous-indice sont possibles :

- dégradation : le sous-indice augmente d'un ou plusieurs niveaux entre J-1 et J,
- maintien : le sous-indice reste au même niveau pour J-1 et J,
- amélioration : le sous-indice diminue d'un ou plusieurs niveaux entre J-1 et J.

La valeur de référence pour une telle évolution est donc la mesure de J-1. L'évolution du sous-indice mesuré pour J-1 et pour J (évolution réelle du sous-indice) peut être comparée à celle du sous-indice mesuré pour J-1 (valeur réelle) et prédit pour J.

Cette analyse prolonge un travail similaire réalisé à l'ASPA. Cependant, pour ce dernier l'évolution du sous-indice est comparée entre :

- Sous-indice mesuré pour J-1 et pour J,
- Sous-indice prédit pour J-1 et prédit pour J.

Par rapport à l'analyse proposée ici, cette évaluation de l'évolution du sous-indice ne prend pas en compte l'erreur associée à la prédiction. En effet, prédire un maintien d'indice pour le lendemain n'est pas suffisant si l'indice réellement mesuré se maintient mais à un niveau différent.

## 2.4 **Prédictions à J+1**

Les résultats les plus probants sont finalement appliqués à la prédiction à J+1, à la fois à partir des mesures de J-1, des premières heures de J et de la prédiction issue de Prev'Air pour J et J+1.

### 3 RESULTATS POUR LE DIOXYDE D'AZOTE

#### 3.1 Prédiction à partir de Prev'Air

Un objectif du travail consistant à tenter d'améliorer les prévisions peu satisfaisantes de Prev'Air pour ce qui concerne les maxima de dioxyde d'azote, ces prévisions ont donc tout d'abord été évaluées. La Figure 1 montre clairement la sous-estimation des maxima horaires prédits par Prev'Air par rapport aux concentrations réellement observées. Cette sous-estimation est en moyenne de l'ordre de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'air. Conséquence logique de cela, le sous-indice prédit par Prev'Air est dans 87% des cas inférieur au sous-indice réellement observé (voir Tableau 1).

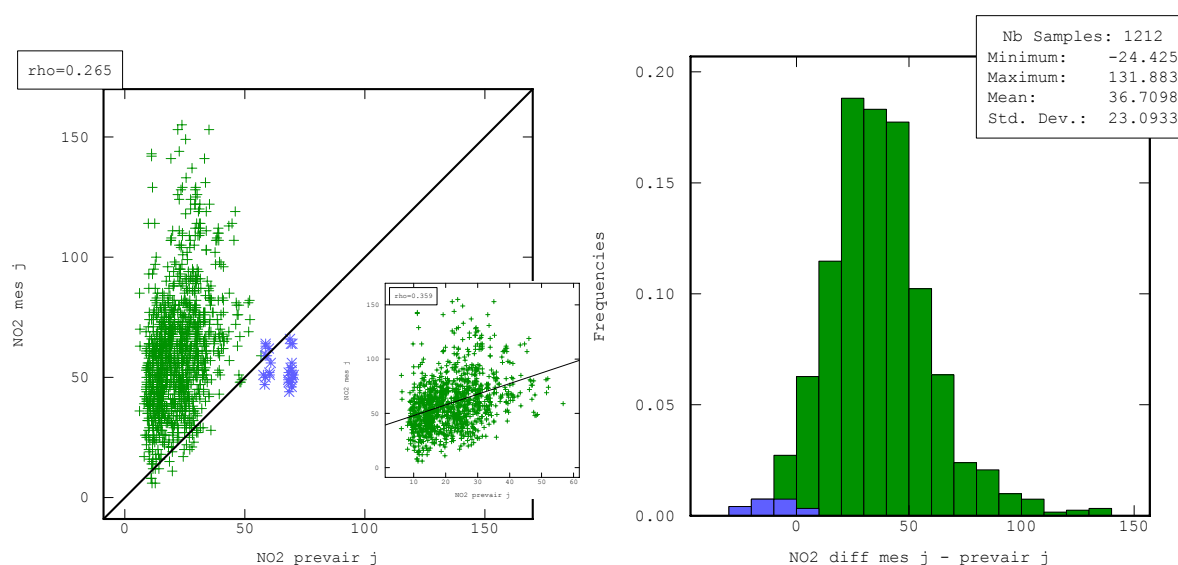


Figure 1 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision issues de Prev'Air, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des 2 premières semaines de décembre 2004 ; en encart, nuage de corrélation obtenu sans ces points bleus. Histogramme des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	11%
Sous-estimation à tort	87%
Sur-estimation à tort	2%

Tableau 1 : Prédiction du sous-indice issu de la prévision Prev'Air pour J, par rapport à la mesure pour J.

Conformément à la méthodologie présentée au paragraphe 2.3.2, le Tableau 2 détaille la comparaison de l'évolution du sous-indice réel (évolution de la mesure J-1 à la mesure J) correspondant au NO<sub>2</sub> par rapport à l'évolution du sous-indice obtenu à partir de la prévision de Prev'Air (évolution de la mesure J-1, réelle, à la prévision J). En raison de la sous-estimation marquée des concentrations prévues par Prev'Air, en les comparant aux mesures de J-1 il apparaît logiquement que pour cette prévision le sous-indice a tendance à s'améliorer, voire à se maintenir. L'évolution du sous-indice n'est correctement prévue que dans 30% des cas.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j	Dégradation	1%	1%	0%
	Maintien	8%	4%	1%
	Amélioration	17%	44%	25%

Tableau 2 : Classement de l'évolution du sous-index réel (Mesure) et issu de la prévision de Prev'Air pour J par rapport à la mesure pour J-1 (Prévision à j).

### 3.2 Structure temporelle des mesures de dioxyde d'azote

Pour chaque station, l'existence d'une corrélation temporelle pour les concentrations en dioxyde d'azote a été évaluée grâce au calcul de variogrammes temporels (voir Figure 2).

Un variogramme temporel  $\gamma(t)$  évalue, pour un nombre de jours  $t$  donné, la variabilité temporelle moyenne des concentrations en  $\text{NO}_2$  espacés de  $t$  jours :

$$\gamma(t) = \frac{1}{2N(t)} \sum_{j=1}^{N(t)} [NO_2(j+t) - NO_2(j)]^2$$

où  $N(t)$  représente le nombre disponible de couples de concentrations espacées de  $t$  jours.

Ces variogrammes montrent l'existence d'une bonne structure temporelle sur une à deux journées. Il est intéressant de noter le niveau de variabilité accru de STG Clemenceau, logique au vu de la typologie trafic de ce site.

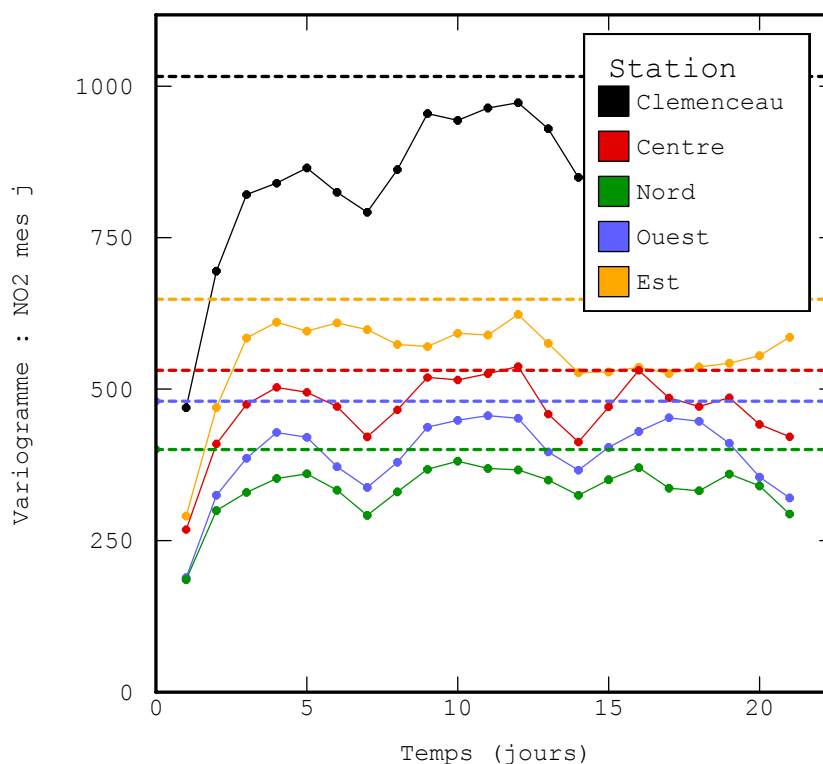


Figure 2 : Variogrammes temporels de la concentration en  $\text{NO}_2$  par station, indication en tirets de la variance statistique.

En outre, une périodicité hebdomadaire apparaît clairement pour l'ensemble des stations, à l'exception de STG Est. Cette périodicité s'explique par l'influence des émissions liées au

transport sur les concentrations de NO<sub>2</sub>. Les émissions réduites au cours du week-end expliquent ainsi que pour chaque station, une concentration en NO<sub>2</sub> pour un jour J est globalement plus proche de la concentration pour J-7 que pour J-2 à J-6 environ. L'exception de STG Est s'explique par la localisation géographique de cette station, implantée à proximité de la route du Rhin, axe privilégié de passage entre la France et l'Allemagne ; la fréquentation de cet axe également le week-end explique à la fois le niveau de variabilité élevé par rapport aux autres stations de fond et l'absence de périodicité hebdomadaire pour cette station.

### 3.3 Prédiction à partir de J-1

Un choix simple de prévision consisterait à prédire pour le lendemain la même concentration en NO<sub>2</sub> que le jour-même, autrement dit prédire pour J la concentration mesurée en J-1. Comme l'illustre la Figure 3, ce choix contribue à restituer en moyenne les bons niveaux de concentrations. Néanmoins, les erreurs de prédictions sont relativement importantes. Exprimées en **sous-indice**, ces erreurs conduisent à sous-estimer à tort le sous-indice dans 26% des cas et à le sur-estimer dans 25% des cas. Néanmoins, le sous-indice est correctement prédit dans presque 1 cas sur 2.

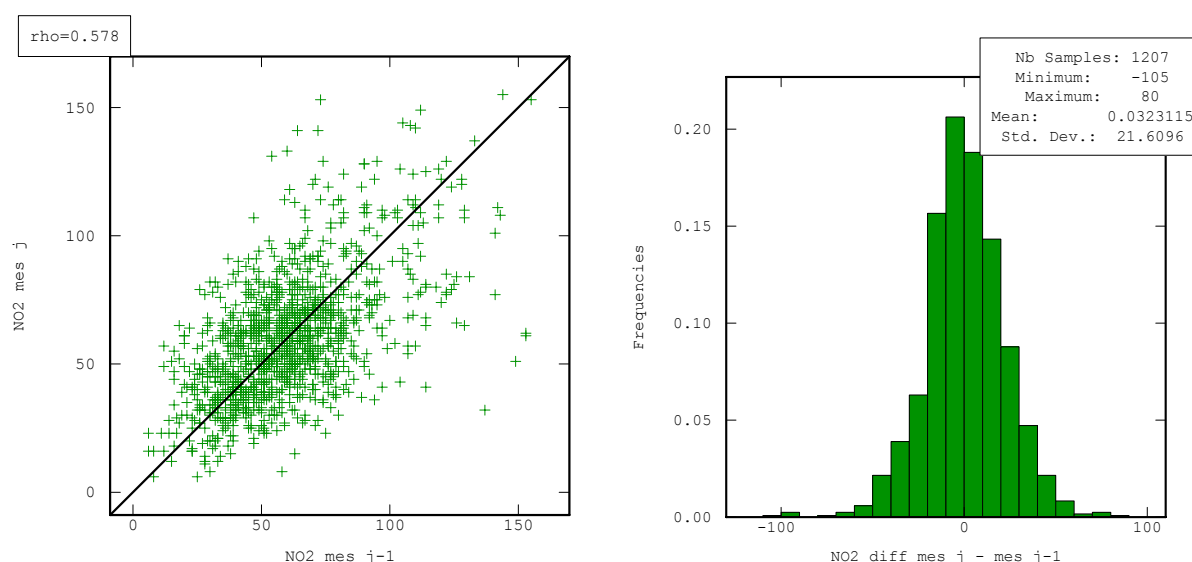


Figure 3 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir de J-1, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	49%
Sous-estimation à tort	26%
Sur-estimation à tort	25%

Tableau 3 : Prédiction du sous-indice issu de la prévision J par la mesure de J-1, par rapport à la mesure pour J.

L'évolution du sous-indice est également correctement prédite dans 49% des cas (voir Tableau 4). Evidemment, la prévision de J étant ici égale à la mesure de J-1, il en découle un maintien systématique du sous-indice.

Cette stratégie simple de prédiction de la concentration maximale en NO<sub>2</sub> du lendemain à partir du maxima du jour-même (persistance temporelle) conduit donc déjà à une amélioration significative de la prévision par rapport aux résultats de Prev'Air.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j	Dégradation	0%	0%	0%
	Maintien	26%	49%	25%
	Amélioration	0%	0%	0%

Tableau 4 : Classement de l'évolution du sous-index réel (Mesure) et issu de la prévision pour J par la mesure de J-1 (Prévision à j).

### 3.4 Prédiction à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J

En utilisant les concentrations des premières heures de la journée pour prédire la concentration maximale de la journée, on s'attend intuitivement à proposer une prédiction d'autant meilleure que le nombre d'heures disponibles est important, vu que l'on dispose alors d'une partie significative de ce que l'on cherche à prédire.

Cela est évalué ici en proposant comme prévision pour J la concentration maximale observée sur les 10 premières heures de la journée. Ainsi, la Figure 4 illustre la qualité de cette prévision, même si évidemment la valeur maximale sur la journée a globalement tendance à être sous-estimée, le maxima journalier étant toujours supérieur ou égal au maxima sur les 10 premières heures de la journée.

On constate que pour un nombre important de jours la concentration maximale sur la journée est atteinte lors des dix premières heures (points situés sur la première bissectrice du nuage de corrélation ci-dessous). Cela n'est pas étonnant et peut s'expliquer par l'importance des pics de trafic du matin en termes de concentrations en NO<sub>2</sub>.

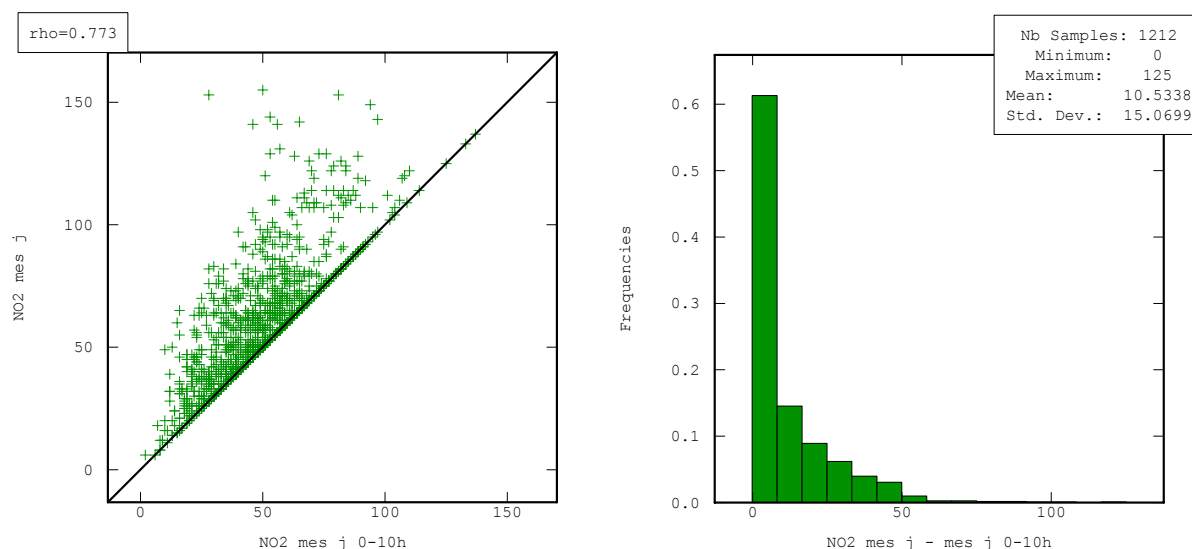


Figure 4 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Exprimés en termes de sous-index, le tableau ci-dessous montre que ce sous-index est correctement prédit dans plus de 2/3 des cas.

L'évolution du sous-index est par ailleurs correctement prédite dans 72% des cas.

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	68%
Sous-estimation à tort	32%
Sur-estimation à tort	0%

Tableau 5 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j	Dégradation	12%	0%	0%
	Maintien	11%	35%	0%
	Amélioration	3%	13%	25%

Tableau 6 : Classement de l'évolution du sous-indice réel (Mesure) et issu de la prévision pour J par la mesure des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j).

### 3.5 Prédiction à partir de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J

Afin de compenser le fait que l'on ne dispose que de quelques heures en début de journée, il peut être intéressant de combiner ces premières heures avec la concentration maximale mesurée en J-1. Cela est fait par régression linéaire multiple, qui donne les résultats suivants :

$$\text{Pred}\{\text{NO}_2^j\} = \text{Max}[0.209*\text{NO}_2^{j-1} + 0.799*\text{NO}_2^{j-0-10h} + 7.872, \text{NO}_2^{j-0-10h}]$$

Le maximum entre le résultat de la régression et la concentration maximale sur les dix premières heures permet de corriger d'éventuels résultats de la régression qui seraient inférieurs à la valeur maximale sur les dix premières heures de la journée (voir figure ci-dessous).

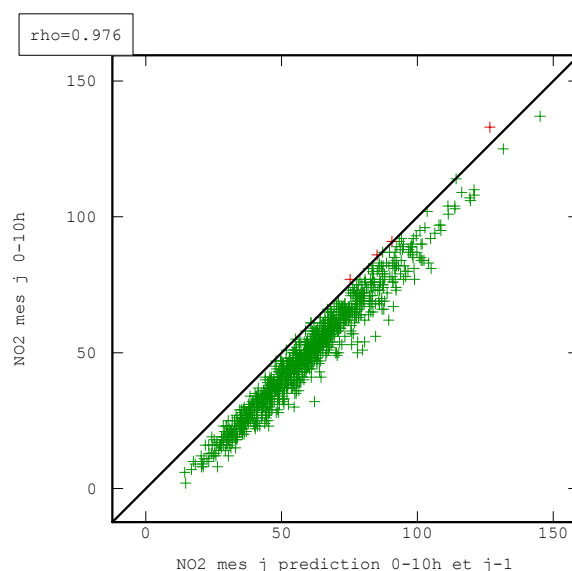


Figure 5 : Nuage de corrélation entre prévision de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J et de J-1 et mesure issue des dix 1<sup>ères</sup> heures de J ; indication de la première bissectrice x=y. Les croix rouges correspondent aux prédictions aberrantes.

Par construction et grâce aux propriétés de la régression, en moyenne la prédiction ainsi obtenue n'est pas biaisée et est bien égale aux concentrations mesurées pour J. Par contre,

cette régression étant construite pour minimiser cette erreur moyenne, afin de compenser la présence de quelques fortes concentrations mesurées, en particulier pour STG Est, la régression a tendance à sur-estimer de quelques micro-grammes une partie importante des concentrations mesurées.

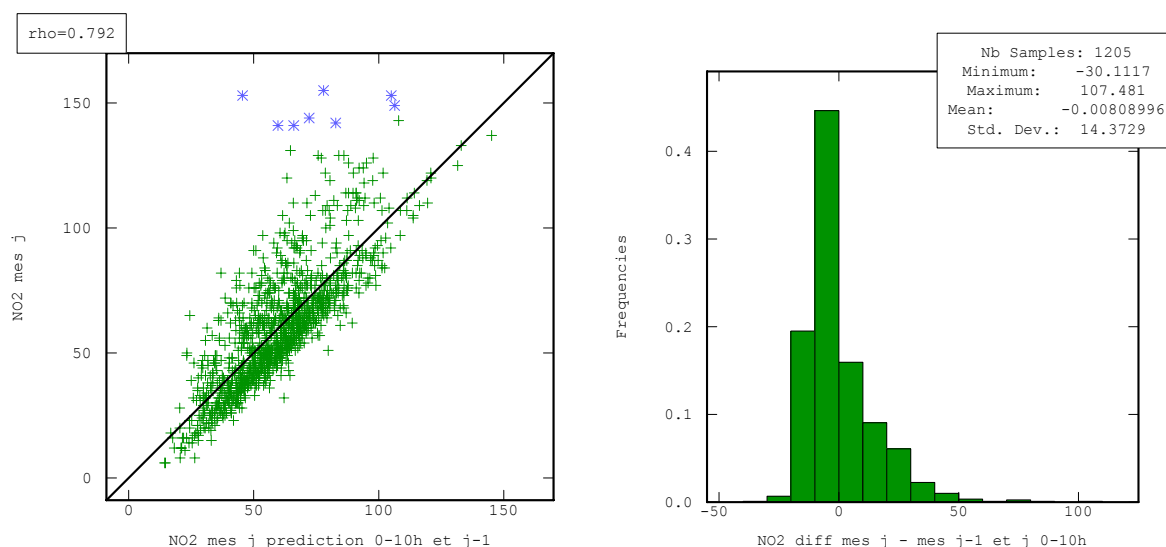


Figure 6 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des STG Est. Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Par rapport à l’utilisation des dix premières heures seules, on constate que le **sous-indice** est correctement prédit dans une proportion de cas légèrement plus faible, 64% au lieu de 68%. Bien que cette nouvelle prévision, obtenue par régression, soit par construction meilleure en termes de reconstruction des concentrations mesurées en J, cela ne se retrouve pas ici en raison de la définition des intervalles de sous-indices.

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	64%
Sous-estimation à tort	17%
Sur-estimation à tort	19%

Tableau 7 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

L’évolution du sous-indice est ici correctement prédite dans 69% des cas, au lieu des 72% obtenus dans le cas de la prévision à partir des 10 premières heures seules.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j	Dégradation	15%	4%	0%
	Maintien	10%	40%	11%
	Amélioration	1%	5%	14%

Tableau 8 : Classement de l’évolution du sous-indice réel (Mesure) et issu de la prévision pour J par la mesure issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j).

### 3.6 Prédiction à partir de J-1 et des six 1<sup>ères</sup> heures de J

Nous avons observé que la connaissance des concentrations des premières heures de J est à privilégier pour la prévision du jour J, en tout cas lorsque ces premières heures sont nombreuses. Afin d'évaluer la perte de qualité qui résulterait d'une prévision de J réalisée plus tôt le matin, lorsque nous disposons de moins d'heures, nous testons une prévision construite par régression à partir de J-1 et des six premières heures de J. L'équation de la régression obtenue est :

$$\text{Pred}\{\text{NO}_2^j\} = 0.242 * \text{NO}_2^{j-1} + 0.741 * \text{NO}_2^{j-0-6h} + 12.881$$

Aucune valeur résultant de la régression n'est inférieure à la concentration maximale sur les six 1<sup>ères</sup> heures. Si en moyenne nous continuons à bien restituer les niveaux de concentrations mesurés, l'ordre de grandeur des erreurs commises augmente par rapport à la prévision basée sur J-1 et les dix premières heures de J. Par conséquent, les taux de bonne prédiction du sous-indice et de bonne prédiction de l'évolution de ce sous-indice diminuent, de 5% chacun environ.

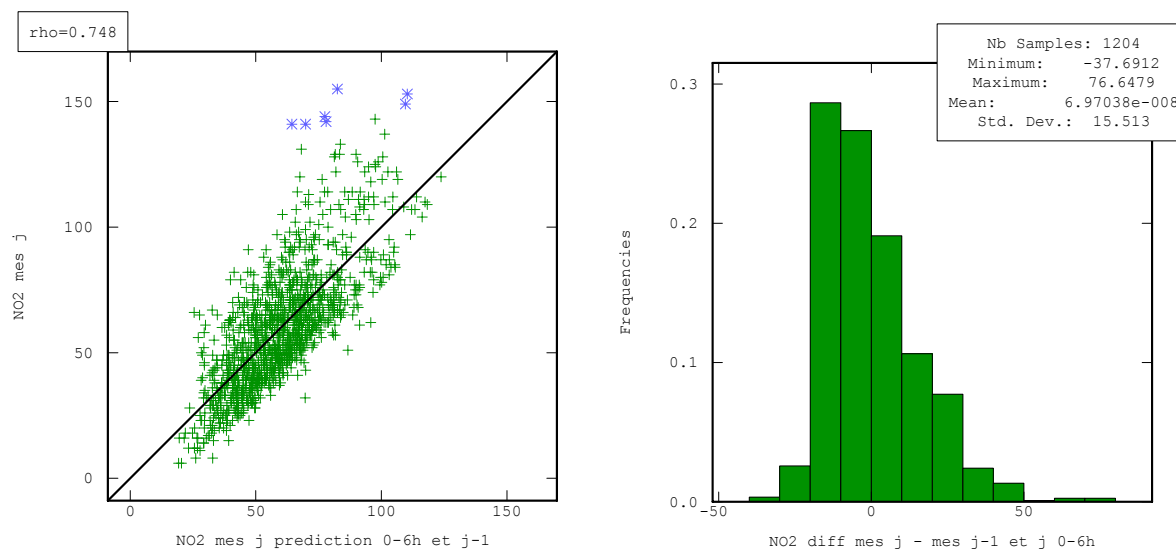


Figure 7 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir des six 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des STG Est. Histogramme et statistiques des erreurs découlant de cette prévision (droite).

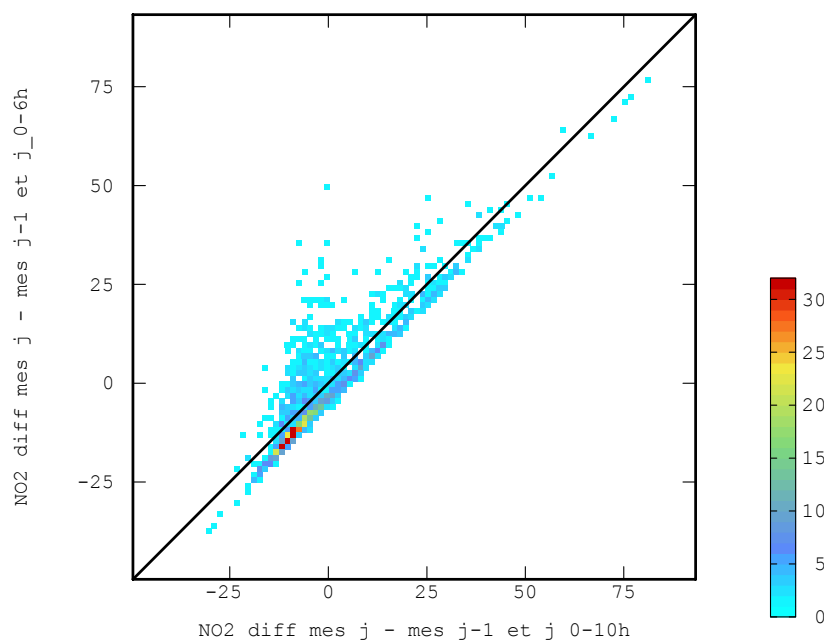
Prévision sous-indice	Taux
Bonne	59%
Sous-estimation à tort	20%
Sur-estimation à tort	21%

Tableau 9 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue de J-1 et des six 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j	Dégradation	14%	5%	0%
	Maintien	11%	39%	13%
	Amélioration	1%	5%	12%

Tableau 10 : Classement de l'évolution du sous-indice réel (Mesure) et issu de la prévision pour J par la mesure issue de J-1 et des six 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j).

En comparant les erreurs de prédiction obtenues en intégrant en plus de J-1 les dix premières heures de la journée ou seulement les six premières heures, on constate que la connaissance des dix premières heures contribue à réduire les sur-estimations résultant de ces prévisions (voir figure ci-dessous, erreurs négatives).



**Figure 8 : Nuage de corrélation des erreurs découlant des prévisions à partir de J-1 et des 10 premières heures de J (abscisses) ou des 6 premières heures de J (ordonnées). Echelle de couleur correspondant aux nombre de points observés dans chaque cellule. Indication de la première bissectrice  $x=y$ .**

Notons que les résultats de prévision obtenus à partir de J-1 et des six premières heures de la journée sont meilleurs que ceux obtenus à partir de J-1 seul.

### 3.7 Conclusions et prédictions à J+1

Cette analyse confirme l'intuition selon laquelle il y a intérêt à attendre le plus longtemps possible au cours du jour J avant d'en fournir une prévision, car ainsi nous intégrons une partie prépondérante de la pollution en NO<sub>2</sub> au cours de la journée. Par conséquent, il conviendrait d'évaluer jusqu'à quelle heure il est possible d'attendre avant de proposer une prévision pour la journée J qui garde son intérêt, sachant que ces valeurs de prévision de fond servent de paramètre d'entrée à ADMS qui doit également tourner avant de fournir la prévision finale.

La concentration maximale observée à J-1 gagne également à être intégrée, et ce d'autant plus que le nombre d'heures disponibles en début de jour J pour établir la prédiction est faible.

Donc, en l'état actuel et ne maîtrisant pas l'heure à laquelle la prévision devra in fine être communiquée, les deux méthodes qui semblent à privilégier sont :

- La prédiction à partir des dix premières heures de la journée (68% de bonne prédiction du sous-indice),
- La prédiction à partir de J-1 et des dix premières heures de la journée (64% de bonne prédiction du sous-indice).

Par ailleurs, concernant la prédiction à J+1, les meilleurs résultats sont obtenus en prenant pour prédiction les même valeurs que pour J. Cela conduit, selon que l'on utilise juste les

données du début de la journée J ou en plus les données de J-1, à un taux de bon classement du **sous-indice** respectivement égal à 43 et 42%. Par ailleurs, l'évolution du **sous-indice** est correctement prédite dans 45 à 50% des cas.

Prévision sous-indice	Taux par J 0-10h	Taux par J-1 et J 0-10h
Bonne	42%	43%
Sous-estimation à tort	43%	33%
Sur-estimation à tort	15%	24%

Tableau 11 : Prévision pour J+1 du sous-indice par la mesure issue des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (gauche) et issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (droite), par rapport à la mesure pour J+1.

Mesures J 0-10h		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j+1	Dégradation	0%	0%	0%
	Maintien	20%	34%	14%
	Amélioration	5%	15%	11%

Mesures J-1 et J 0-10h		Mesure		
		Dégradation	Maintien	Amélioration
Prévision à j+1	Dégradation	9%	9%	1%
	Maintien	15%	33%	16%
	Amélioration	2%	7%	8%

Tableau 12 : Classement de l'évolution du sous-indice réel (Mesure) et issu de la prévision pour J+1 par la mesure issue des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j+1, haut), et par la mesure issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j+1, bas).

### 3.8 Résultats détaillés pour STG Nord et STG Ouest pour J

La prévision obtenue à partir de J-1 et des dix premières heures de J est recalculée uniquement d'une part pour la station STG Nord et pour la station STG Ouest d'autre part<sup>3</sup>. Cela conduit aux équations suivantes :

$$\text{Pred } \{\text{NO}_2^j \text{ Nord}\} = \text{Max}[ 0.145 * \text{NO}_2^{j-1} + 0.847 * \text{NO}_2^{j-0-10h} + 8.060, \text{NO}_2^{j-0-10h} ]$$

$$\text{Pred } \{\text{NO}_2^j \text{ Ouest}\} = \text{Max}[ 0.177 * \text{NO}_2^{j-1} + 0.834 * \text{NO}_2^{j-0-10h} + 6.371, \text{NO}_2^{j-0-10h} ]$$

Les taux de bonne prévision du sous-indice et de son évolution sont similaires à ce qui avait été obtenu pour l'ensemble des stations, bien que légèrement meilleurs pour STG Ouest.

Il est à noter que les points mal prédits à partir de ces régressions ne semblent pas provenir d'une période particulière de l'année.

<sup>3</sup> La prévision obtenue à partir de J-1 et des six premières heures de J conduit quant à elle aux équations suivantes :

$$\text{Pred } \{\text{NO}_2^j \text{ Nord}\} = \text{Max}[ 0.206 * \text{NO}_2^{j-1} + 0.731 * \text{NO}_2^{j-0-6h} + 13.913, \text{NO}_2^{j-0-6h} ]$$

$$\text{Pred } \{\text{NO}_2^j \text{ Ouest}\} = \text{Max}[ 0.246 * \text{NO}_2^{j-1} + 0.758 * \text{NO}_2^{j-0-6h} + 10.757, \text{NO}_2^{j-0-6h} ]$$

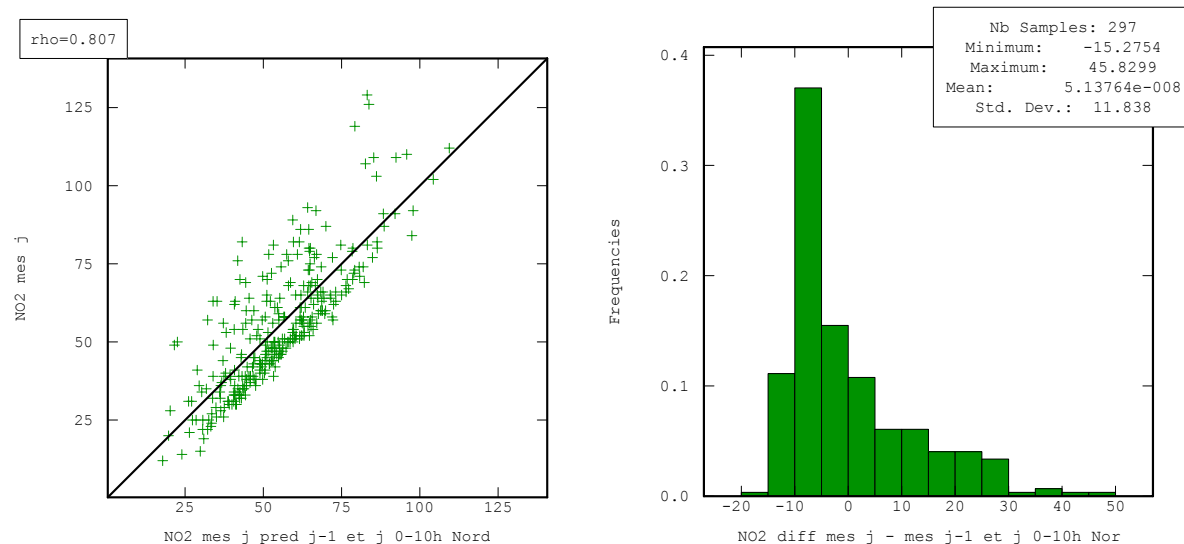


Figure 9 : STG Nord - Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

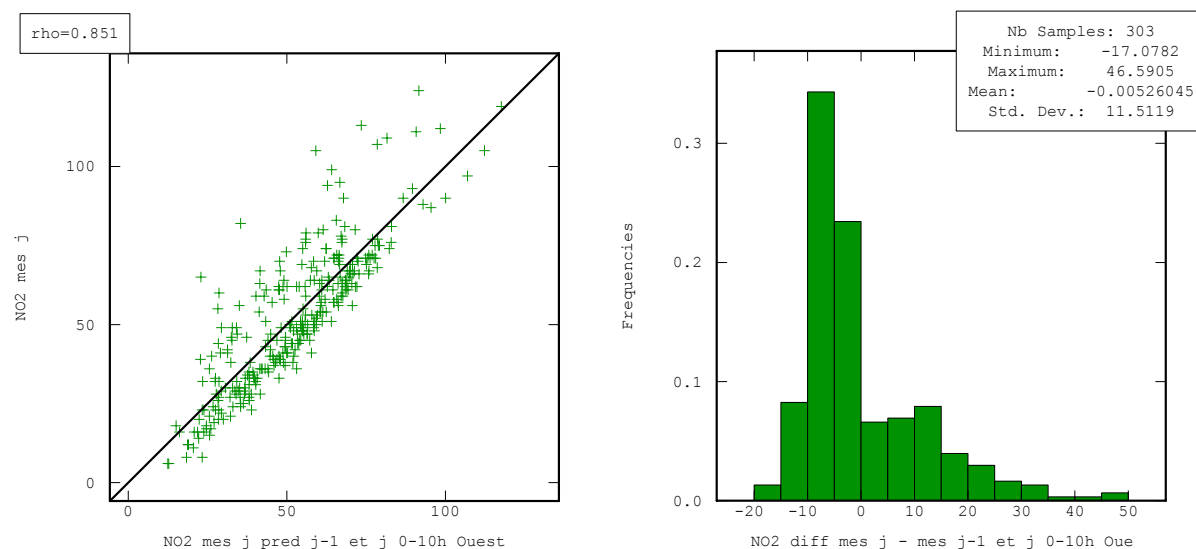


Figure 10 : STG Ouest - Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en NO<sub>2</sub> pour le jour J et prévision à partir de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	68%
Sous-estimation à tort	16%
Sur-estimation à tort	15%

STG Nord

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	71%
Sous-estimation à tort	15%
Sur-estimation à tort	14%

STG Ouest

Tableau 13 : Prévisions pour STG Nord et Ouest du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

STG Nord :	Mesure		
	Dégradation	Maintien	Amélioration

Prévision à j	Dégradation	15%	4%	0%
	Maintien	11%	41%	10%
	Amélioration	0%	4%	15%

STG Ouest		Mesure		
Prévision à j		Dégradation	Maintien	Amélioration
	Dégradation	16%	4%	0%
	Maintien	8%	43%	8%
	Amélioration	0%	5%	17%

Tableau 14 : Classement pour STG Nord et Ouest de l'évolution du sous-indice réel (Mesure) et issu de la prévision pour J par la mesure issue de J-1 et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (Prévision à j).

### 3.9 Assimilation horaire pour STG Ouest

Le nuage de corrélation entre concentration horaire mesurée et prévue par Prev'Air pour J met en avant les même points atypiques que pour les maxima journaliers.

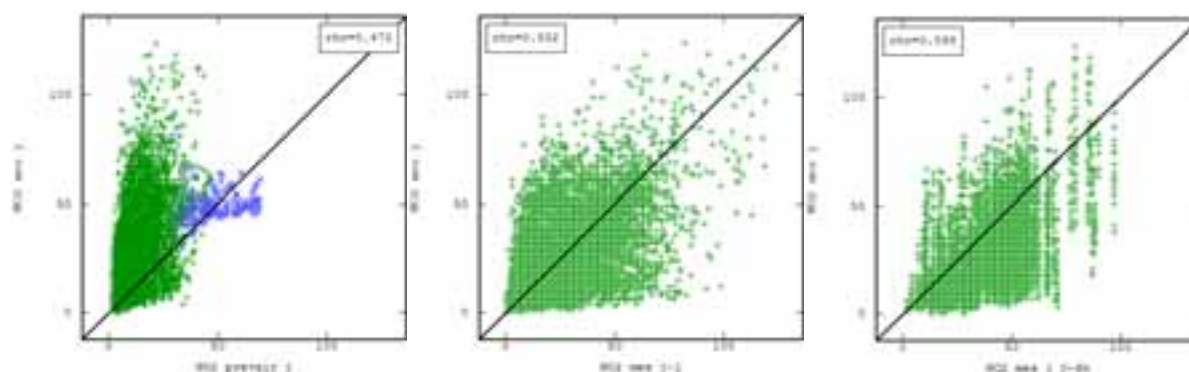


Figure 11 : Nuages de corrélation entre concentrations horaires en dioxyde d'azote (ordonnée) et (gauche :) prévision horaire de Prev'Air (les points bleus proviennent de la seconde semaine de décembre), (milieu :) concentration horaire pour J-1 ou (droite :) concentration maximale entre 0 et 6h pour J. 1<sup>ère</sup> bissectrices  $x=y$  indiquées.

En combinant la concentration horaire de J-1 et la concentration maximale entre 0 et 6h, nous obtenons pour la prévision horaire du NO<sub>2</sub> l'équation suivante :

$$\text{Pred}\{\text{NO}_2^j(\text{h}) \text{ Ouest}\} = 0.354 * \text{NO}_2^{j-1}(\text{h}) + 0.484 * \text{NO}_2^{\text{Max}\{0-6\text{h}\}} - 0.198$$

La figure suivante illustre l'intérêt existant, pour la prévision des concentrations horaires, à combiner à nouveau les concentrations horaires observées la veille et en début de journée. Substituer, pour J, la moyenne entre 0 et 6h au maximum entre 0 et 6h dans la régression précédente ne conduit pas à une amélioration significative des résultats.

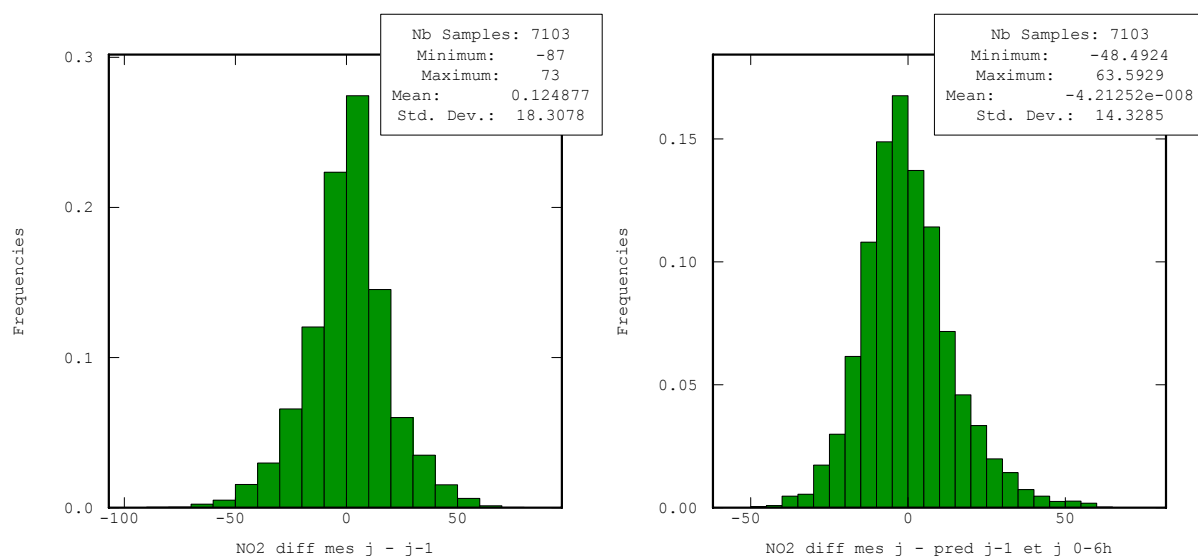


Figure 12 : Histogrammes et statistiques élémentaires associées aux erreurs de la prévision horaire de J par J-1 (gauche) et par la combinaison de J-1 et du max de J entre 0 et 6h (droite), par rapport à la concentration horaire mesurée pour J.

### 3.10 Assimilation horaire pour STG Nord

En suivant la même méthodologie que pour STG Ouest, nous obtenons pour STG Nord la régression suivante :

$$\text{Pred}\{\text{NO}_2^j(\text{h}) \text{ Nord}\} = 0.375 \cdot \text{NO}_2^{j-1}(\text{h}) + 0.427 \cdot \text{NO}_2^{j-\text{Max}\{0-6h\}} + 2.351$$

## 4 RESULTATS POUR L'OZONE

La méthodologie développée pour le NO<sub>2</sub> est ici appliquée de façon similaire à l'ozone, pour lequel les résultats sont commentés de façon plus succincte. Par ailleurs, les résultats d'évolution du sous-indice ne sont pas présentés.

### 4.1 Prédiction à partir de Prev'Air

La prévision des maxima journaliers en O<sub>3</sub> par Prev'Air est nettement plus satisfaisante que pour le NO<sub>2</sub>. Notons juste une sur-estimation importante des faibles concentrations par Prev'Air, en particulier pour la première quinzaine de décembre 2004 où les mesures les plus faibles en ozone ont été observées. A noter que cette première quinzaine de décembre 2004 est la seule période où les niveaux de NO<sub>2</sub> ont été bien prévus par Prev'Air. Un changement de version de Chimère mi-décembre 2004 est une explication possible pour ces observations. Par ailleurs, 2-3 jours de mars conduisent également à des incohérences importantes en termes de prévision. Ces données sont ignorées dans toute la suite de l'analyse des prévisions en ozone.

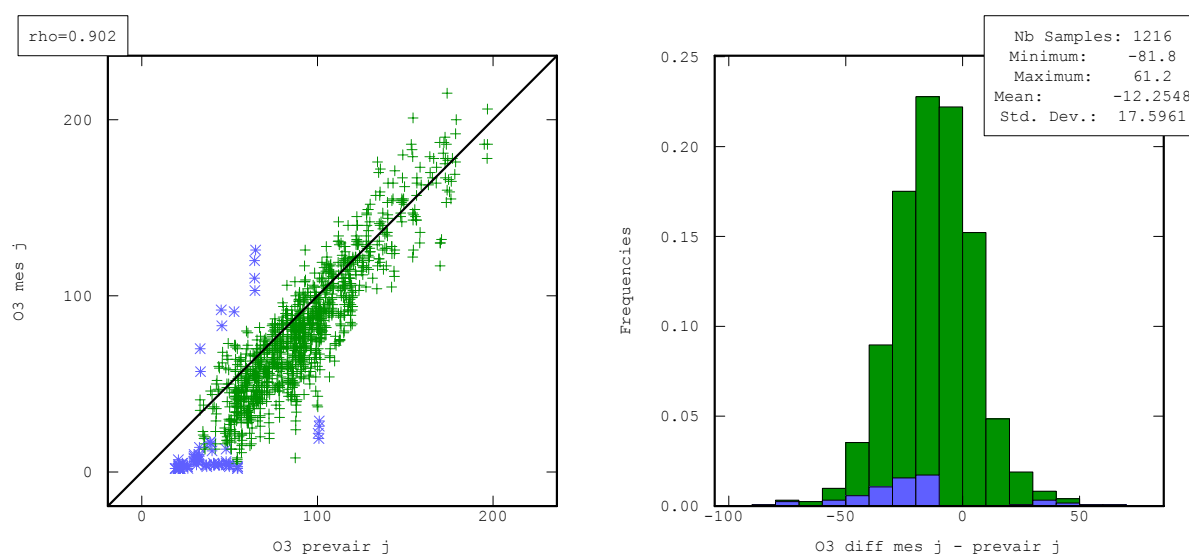


Figure 13 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision issues de Prev'Air, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des 2 premières semaines de décembre 2004. Histogramme des erreurs découlant de cette prévision (droite).

La prévision conduit à une bonne prédiction du sous-indice dans 46% des cas, une proportion importante de mauvaise prédiction allant dans le sens d'une sur-estimation de l'indice ; cela s'explique justement par la sur-estimation des faibles concentrations par Prev'Air.

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	46%
Sous-estimation à tort	10%
Sur-estimation à tort	44%

Tableau 15 : Prédiction du sous-indice issu de la prévision de Prev'Air pour J, par rapport à la mesure pour J.

## 4.2 Structure temporelle des mesures d’ozone

La structuration temporelle des maxima journaliers d’ozone est encore plus marquée que pour le dioxyde d’azote, ce qui est cohérent avec la plus grande stabilité temporelle de ce polluant atmosphérique secondaire. Notons que les variances statistiques sont bien supérieures au niveau de variabilité temporelle observée sur une vingtaine de jours, en raison de l’existence de variabilités saisonnières marquées, qui augmentent globalement ces variances statistiques.

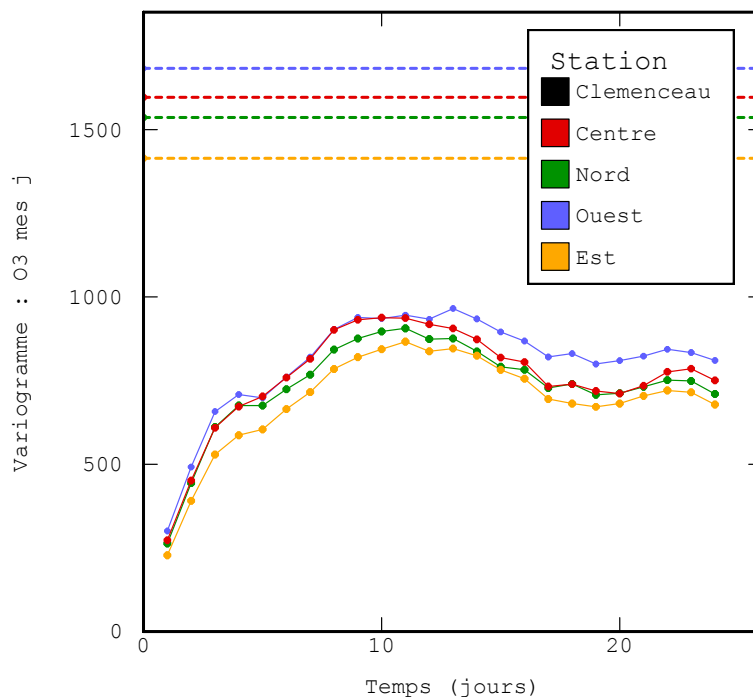


Figure 14 : Variogrammes temporels de la concentration en  $O_3$  par station, indication en tirets de la variance statistique.

Cette structuration justifie l’introduction des concentrations mesurées à J-1 et début de J pour la prévision de J.

## 4.3 Prédiction à partir de J-1

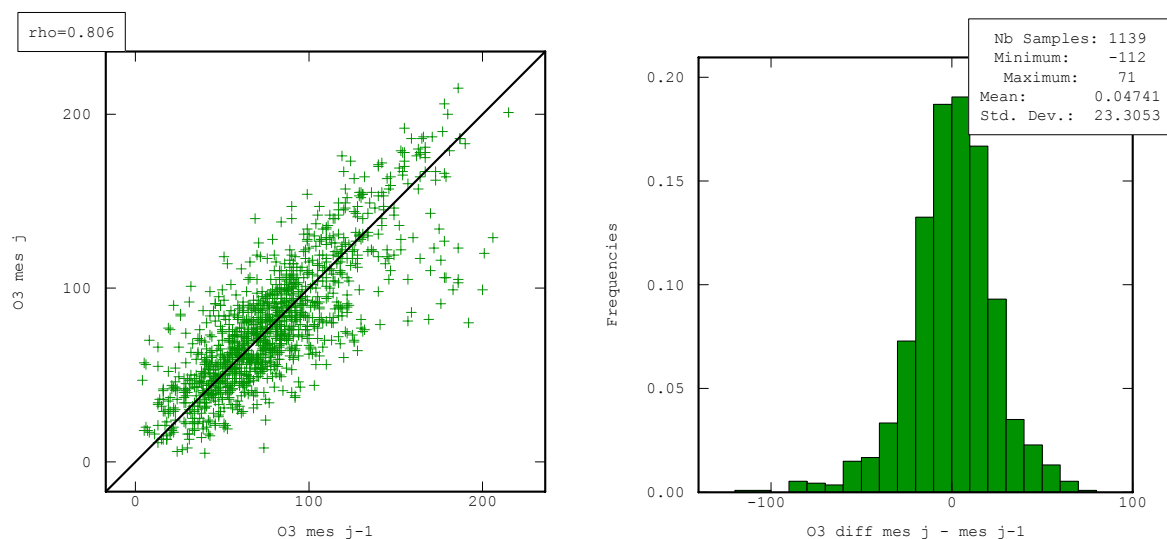


Figure 15 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en  $O_3$  pour le jour J et prévision à partir de J-1, indication de la première bissectrice  $x=y$  (gauche). Histogramme des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	44%
Sous-estimation à tort	29%
Sur-estimation à tort	27%

Tableau 16 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure de J-1, par rapport à la mesure pour J.

La prédiction de l'ozone le jour J par la mesure de l'ozone en J-1 conduit à des résultats très légèrement moins bons que Prev'Air. Par contre, l'absence de biais en utilisant J-1, notamment pour les faibles concentrations, est à noter. Par conséquent, les mauvaises prédictions concernent dans une proportion similaire la sur-estimation et la sous-estimation du sous-indice.

#### 4.4 Prédiction à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J

En utilisant la concentration maximale au cours des 10 premières heures de la journée, nous obtenons des résultats moins bons que pour le NO<sub>2</sub>. Cela est cohérent, les pics d'ozone étant classiquement plutôt observés au cours de l'après-midi ; par conséquent, en ne prenant en compte que les dix premières heures de la journée, on sous-estime considérablement les concentrations, en particulier fortes. Le sous-indice prédit est donc majoritairement sous-estimé, dans 2/3 des cas environ.

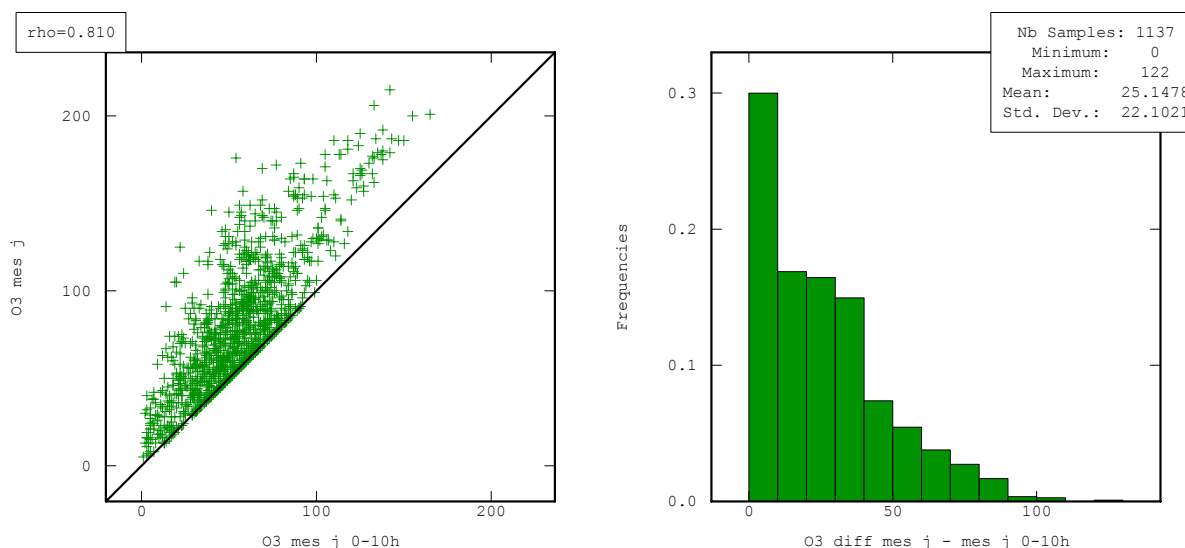


Figure 16 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	36%
Sous-estimation à tort	64%
Sur-estimation à tort	0%

Tableau 17 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

## 4.5 Prédiction à partir J-1 et de Prev’Air

En combinant la prévision de Prev’Air pour J et la mesure pour J-1, nous obtenons par régression linéaire multiple l’équation suivante :

$$\text{Pred}\{O_3^j\} = 0.251 * O_3^{j-1} + 0.869 * O_3^{\text{Prevair } j} - 19.620$$

Cette régression donne donc à Prev’Air un poids plus important, ce qui est cohérent au vu de ses résultats de prédiction, meilleurs qu’avec J-1. La constante négative contribue à compenser la tendance à la sur-estimation des concentrations en ozone par Prev’Air. La combinaison des deux variables conduit à une amélioration des résultats par rapport à la prévision de Prev’Air seul, le taux de bonne prédiction du sous-indice passant de 46% à 55%.

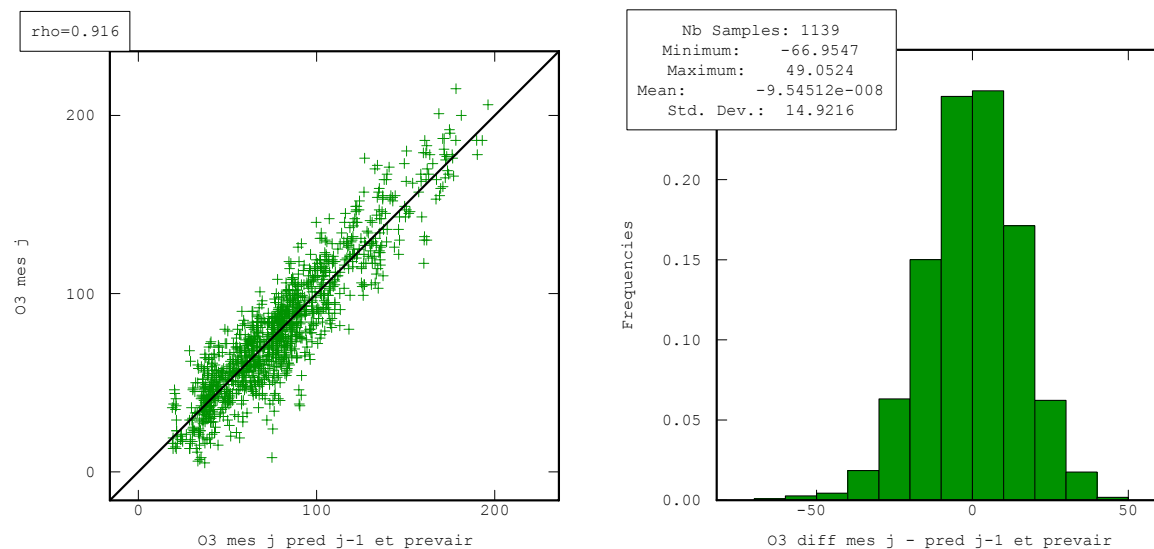


Figure 17 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en  $O_3$  pour le jour J et prévision à partir de Prev’Air et de la mesure de J-1, indication de la première bissectrice  $x=y$  (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	55%
Sous-estimation à tort	23%
Sur-estimation à tort	22%

Tableau 18 : Prédiction du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue de J-1 et de la prévision de Prev’Air pour J, par rapport à la mesure pour J.

## 4.6 Prédiction à partir de Prev’Air et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J

Bien que la prédiction de J à partir des dix premières heures de J conduise à de moins bons résultats que celle à partir de J-1, il peut être intéressant de tenter de combiner ces dix premières heures avec Prev’Air, en raison de la bonne corrélation qui existe entre les dix premières heures de J et J (corrélation légèrement meilleure qu’entre J-1 et J). Cela conduit à la régression suivante :

$$\text{Pred}\{O_3^j\} = 0.474 * O_3^{j-10h} + 0.817 * O_3^{\text{Prevair } j} - 20.631$$

Le taux de bonne prédiction du sous-indice passe alors de 55% (en utilisant J-1) à 60%, avec environ 20% de sur-estimations à tort du sous-indice et 20% de sous-estimations. Les points atypiques du nuage de corrélation sont en majeure partie attribuables à la prévision de Prev’Air (voir Figure 19).

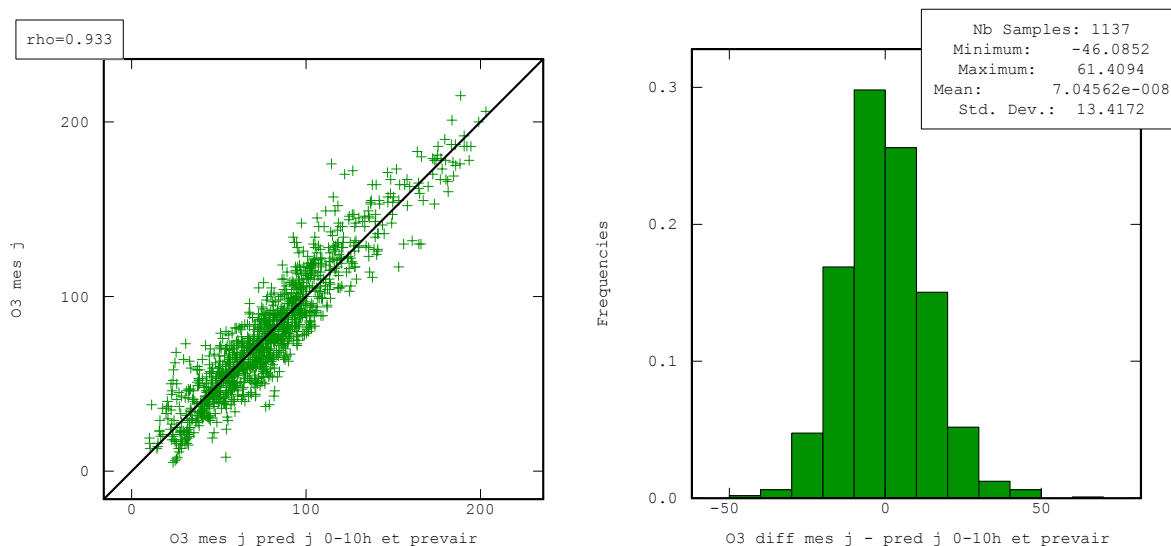


Figure 18 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision à partir de Prev’Air et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	60%
Sous-estimation à tort	22%
Sur-estimation à tort	19%

Tableau 19 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue des dix 1<sup>ères</sup> heures de J et de la prévision de Prev’Air pour J, par rapport à la mesure pour J.

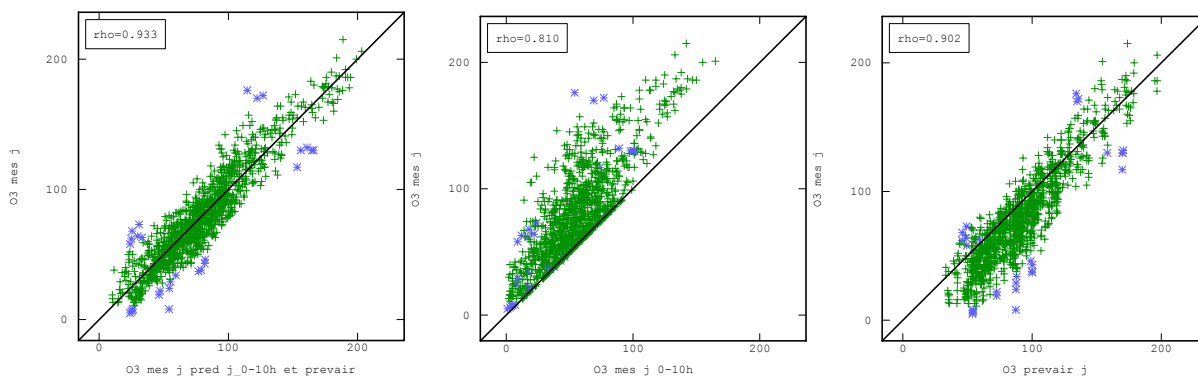


Figure 19 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et : prévision à partir de Prev’Air et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (gauche), mesure des dix 1<sup>ères</sup> heures de J (milieu), prévision à partir de Prev’Air (droite). Indication de la première bissectrice x=y. Les points en bleu correspondent à des points atypiques.

### 4.7 Prédiction à partir de Prev’Air et des six 1<sup>ères</sup> heures de J

Afin d’évaluer la perte de qualité de la prévision consécutive à une utilisation que des six premières heures de J au lieu des dix premières, nous considérons à présent une prédiction à partir des six premières heures de J et de Prev’Air pour J. Cela conduit à la régression suivante :

$$\text{Pred}\{O_3^j\} = 0.233 * O_3^{j-0-6h} + 1.050 * O_3^{\text{Prevair } j} - 25.623$$

Le taux de bonne prédiction du sous-indice passe alors de 55% (en utilisant J-1) à 54%.

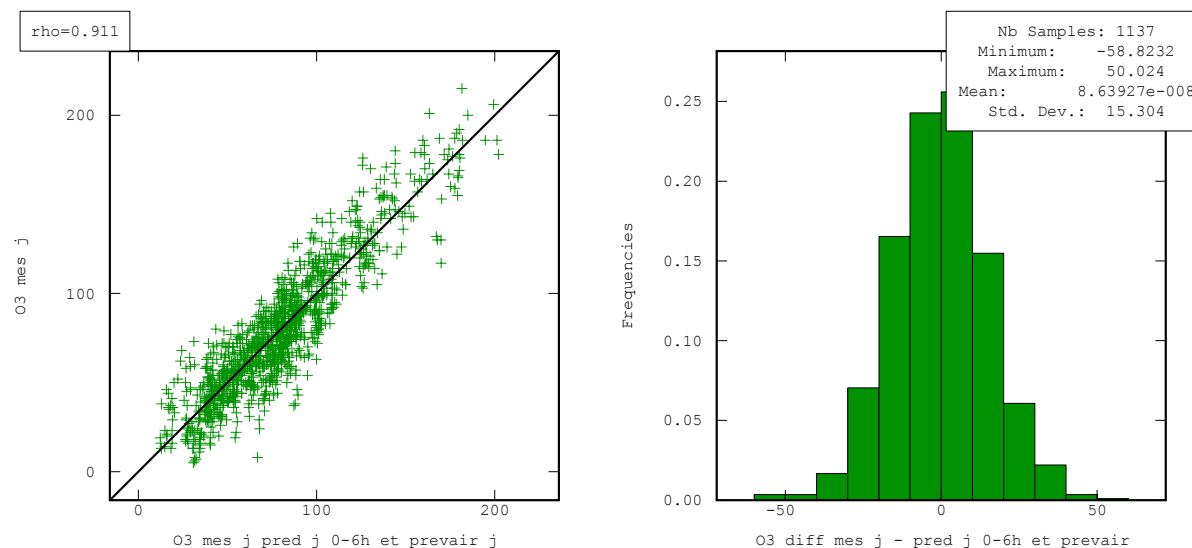


Figure 20 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision à partir de Prev’Air et des six 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	54%
Sous-estimation à tort	24%
Sur-estimation à tort	22%

Tableau 20 : Prévision du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue des six 1<sup>ères</sup> heures de J et de la prévision de Prev’Air pour J, par rapport à la mesure pour J.

## 4.8 Conclusions et prédictions à J+1

En dépit de résultats déjà intéressants fournis par la prédiction de Prev’Air, la prévision des maxima journaliers en ozone pour le jour J gagne à intégrer également les concentrations issues du début de la journée ou, à défaut, les concentrations mesurées la veille. Le taux de bonne prédiction du sous-indice passe alors de 46% (Prev’Air seul) à 55% (Prev’Air et mesure J-1) voire 60% (Prev’Air et 0-10h J). Cependant, si l’on ne dispose que des 6 premières heures de la journée, alors il est préférable de s’en tenir à l’utilisation de J-1 et de Prev’Air pour J.

La prédiction du maxima journalier à J+1 est quant à elle envisageable à partir de Prev’Air et, tout comme celle de J, à partir des dix 1<sup>ères</sup> heures de J. Afin de prédire J+1, il est possible d’intégrer la prévision de Prev’Air pour J ou pour J+1. Les deux choix ont été comparés, et conduisent aux équations de régression suivantes :

$$\text{Pred}\{O_3^{j+1}\} = 0.330 * O_3^{j-0-10h} + 0.782 * O_3^{\text{Prevair } j+1} - 8.682$$

$$\text{Pred}\{O_3^{j+1}\} = 0.287 * O_3^{j-0-10h} + 0.771 * O_3^{\text{Prevair } j} - 6.262$$

Il est intéressant d’observer que les résultats sont équivalents en terme de prédiction de J+1, voire légèrement meilleurs lorsque l’on utilise la prévision de Prev’Air pour J au lieu de celle pour J+1, peut-être en raison de la moindre robustesse de cette dernière.

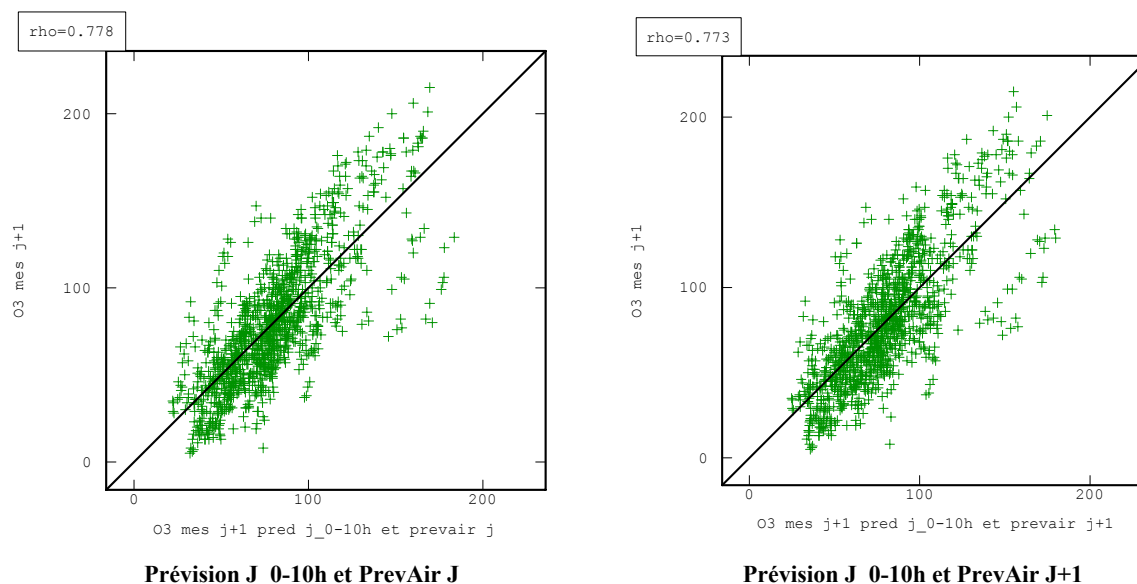


Figure 21 : Nuages de corrélation entre mesure de la concentration en  $O_3$  pour le jour J+1 et prévision à partir de PrevAir pour J (gauche) ou pour J+1 (droite) et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice  $x=y$ .

Les taux de bonne prédiction du sous-indice, de l'ordre de 40%, sont logiquement moins bons que pour la prévision de J. Ces taux sont en outre à comparer à celui obtenu par la prévision de Prev'Air seul pour J+1, égal à 35% (voir Tableau 22) ; cette prévision par Prev'Air à J+1 présente, tout comme pour J, une tendance nette à la sur-estimation des concentrations de J+1 (voir Figure 22) et donc du sous-indice.

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	40,2%
Sous-estimation à tort	30,3%
Sur-estimation à tort	29,5%

Prévision J\_0-10h et PrevAir J

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	39,5%
Sous-estimation à tort	30,3%
Sur-estimation à tort	30,2%

Prévision J\_0-10h et PrevAir J+1

Tableau 21 : Prévisions du sous-indice issu de la prévision J+1 par la mesure issue des dix 1<sup>ères</sup> heures de J et de PrevAir pour J (gauche) ou J+1 (droite), par rapport à la mesure de J+1.

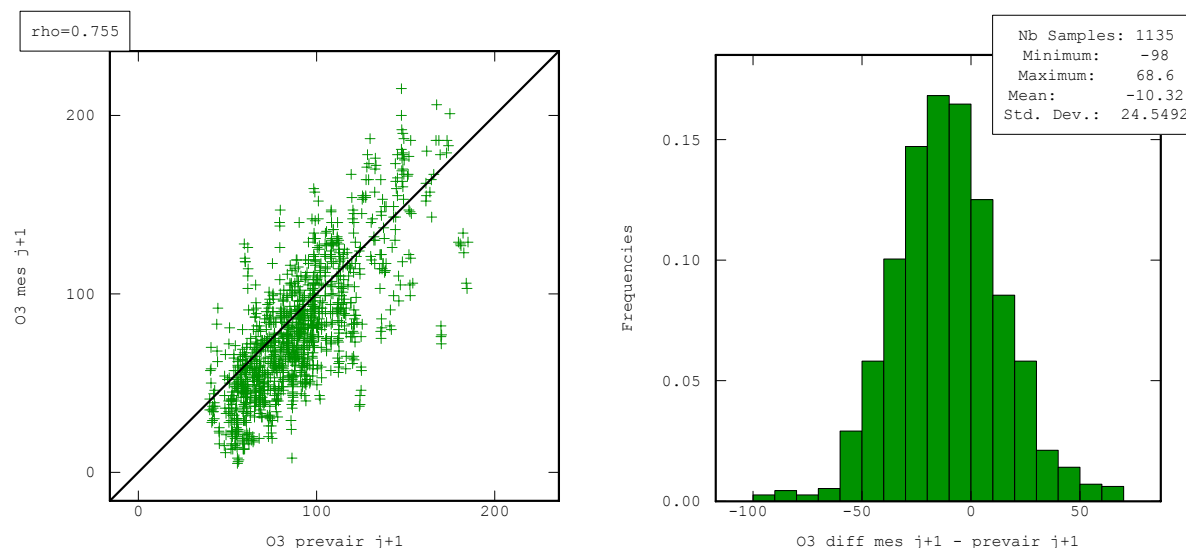


Figure 22 : Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J+1 et prévision issues de Prev’Air pour J+1, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Histogramme des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	35,0%
Sous-estimation à tort	17,5%
Sur-estimation à tort	47,5%

Tableau 22 : Prévision du sous-indice issu de la prévision de Prev’Air pour J+1, par rapport à la mesure pour J+1.

### 4.9 Résultats détaillés pour STG Nord et Ouest pour J

La prédiction des maxima journaliers de J à partir de Prev’Air et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J est ré-évaluée à la fois pour la station STG Nord et pour STG Ouest<sup>4</sup>, ce qui conduit aux équations de régression suivantes :

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Nord}\} = 0.399 * O_3^{j-0-10h} + 0.862 * O_3^{\text{Prevair } j} - 19.140$$

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Ouest}\} = 0.451 * O_3^{j-0-10h} + 0.827 * O_3^{\text{Prevair } j} - 15.054$$

Les résultats obtenus sont détaillés aux figures suivantes. L’absence de biais de ces prédictions est à noter, tout comme le taux de bonne prédiction du sous-indice, égal à 60% pour STG Nord et 63% pour STG Ouest. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus pour l’ensemble des stations.

<sup>4</sup> La prédiction des maxima journaliers de J à partir de Prev’Air et de la mesure pour J-1 conduit quant à elle aux équations de régression suivantes :

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Nord}\} = 0.177 * O_3^{j-1} + 0.940 * O_3^{\text{Prevair } j} - 18.148$$

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Ouest}\} = 0.209 * O_3^{j-1} + 0.931 * O_3^{\text{Prevair } j} - 15.644$$

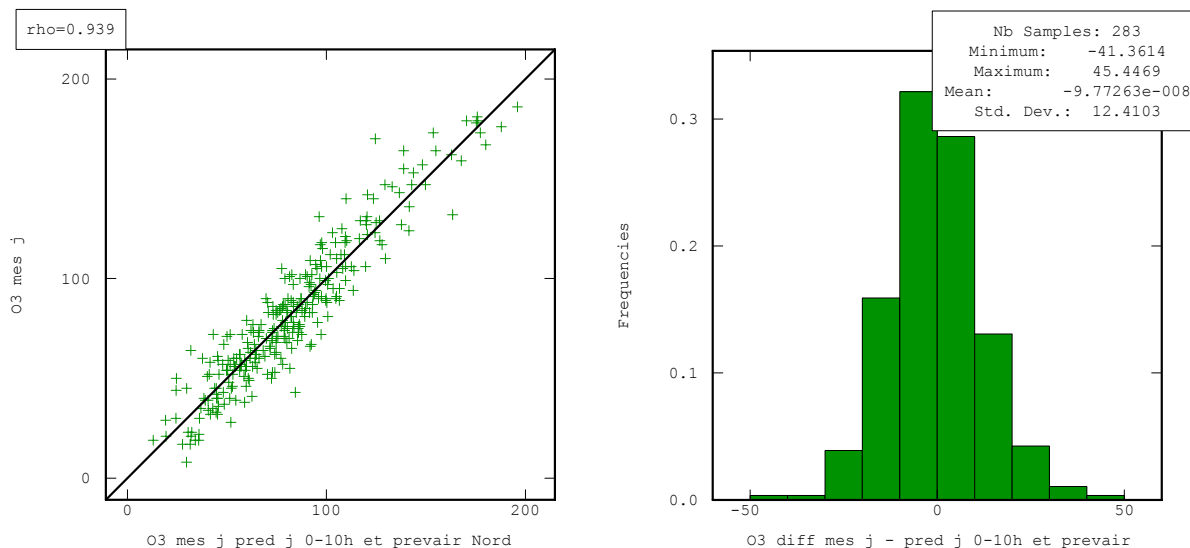


Figure 23 : STG Nord - Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision à partir de PrevAir et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des STG Est. Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

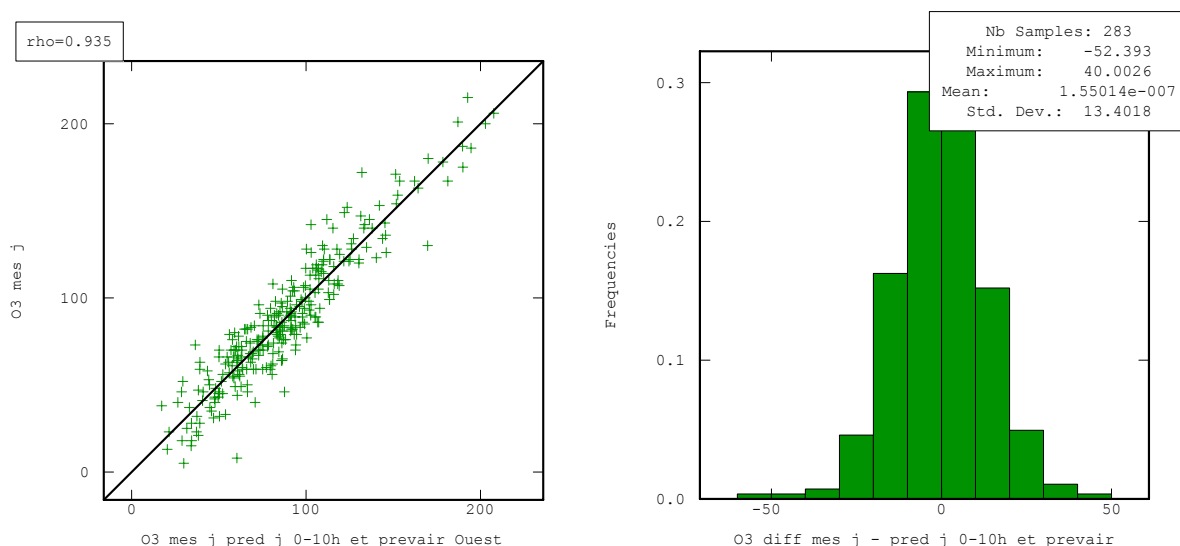


Figure 24 : STG Ouest - Nuage de corrélation entre mesure de la concentration en O<sub>3</sub> pour le jour J et prévision à partir de PrevAir et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, indication de la première bissectrice x=y (gauche). Les points en bleu sont issus des STG Est. Histogramme et statistiques élémentaires des erreurs découlant de cette prévision (droite).

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	60%
Sous-estimation à tort	21%
Sur-estimation à tort	18%

STG Nord

Prévision sous-indice	Taux
Bonne	63%
Sous-estimation à tort	18%
Sur-estimation à tort	19%

STG Ouest

Tableau 23 : Prévisions pour STG Nord et Ouest du sous-indice issu de la prévision J par la mesure issue de PrevAir et des dix 1<sup>ères</sup> heures de J, par rapport à la mesure pour J.

#### 4.10 Assimilation horaire pour STG Ouest

Tout comme pour le dioxyde d'azote, nous étudions à présent la faisabilité d'une prévision des concentrations horaires en ozone à l'aide de la méthodologie présentée.

Les nuages de corrélation ci-dessous illustrent la sous-estimation des concentrations horaires faibles et moyennes par Prev'Air, déjà constatée pour les maxima journaliers.

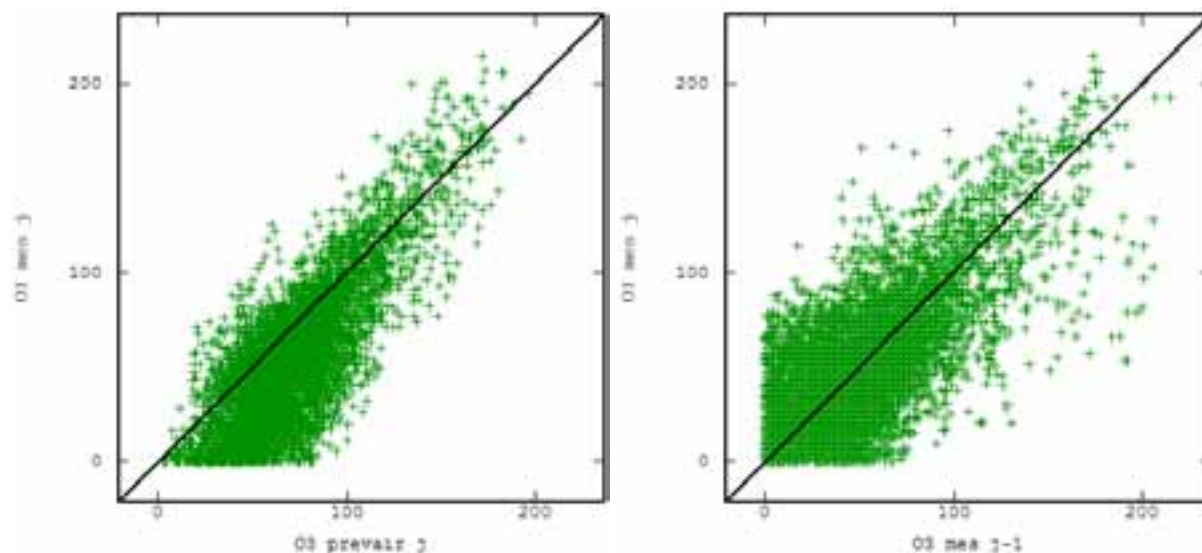


Figure 25 : Nuages de corrélation entre concentrations horaires en ozone (ordonnée) et (gauche : ) prévision horaire de Prev'Air ou (droite : ) concentration horaire pour J-1. 1<sup>ère</sup> bissectrices  $x=y$  indiquées.

En termes d'erreur par rapport à la concentration horaire J, on peut noter le non biais de la concentration horaire J-1. Ce non biais est également illustré par la Figure 27. En outre, l'écart-type de l'erreur associée à Prev'Air est plus faible que celui associé à la concentration mesurée de J-1.

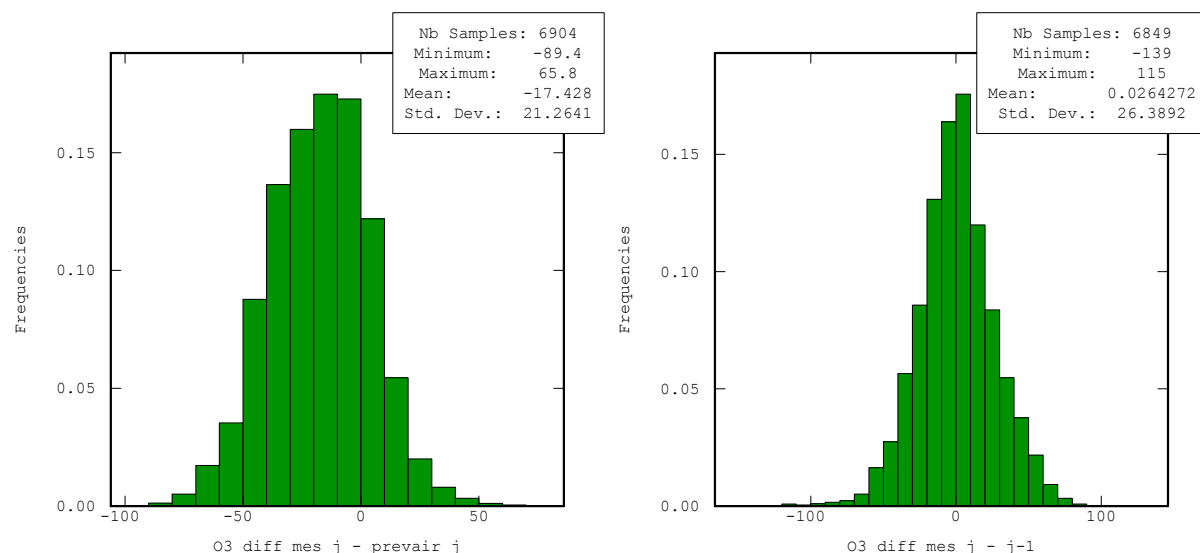


Figure 26 : Histogrammes et statistiques élémentaires associées aux erreurs de la prévision horaire de Prev'Air (gauche) et de la concentration horaire mesurée pour J-1 (droite) par rapport à la concentration horaire mesurée pour J.

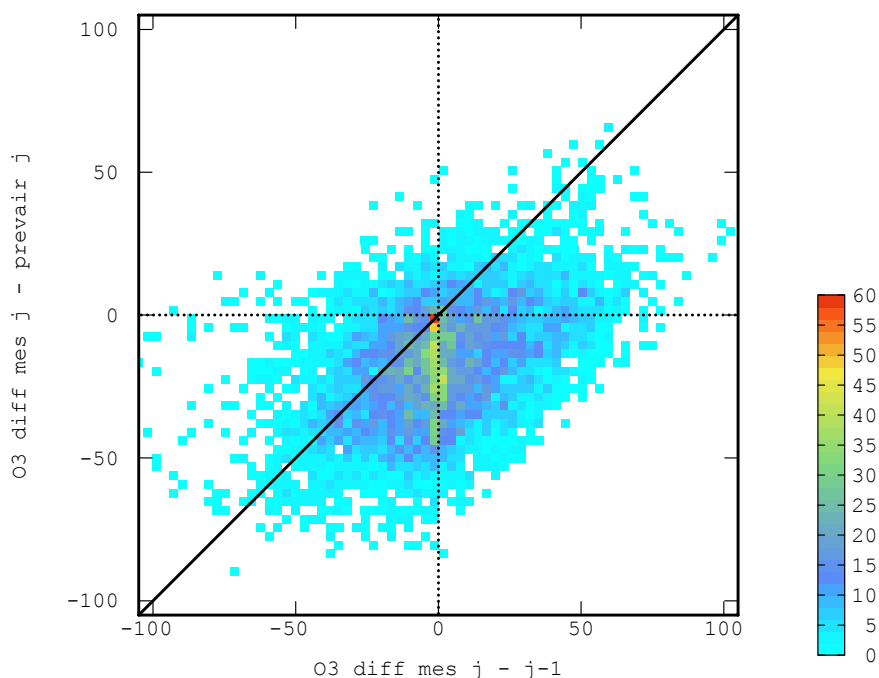


Figure 27 : Nuage de corrélation entre les erreurs associées à la prévision horaire de Prev'Air (ordonnée) et à la concentration horaire mesurée pour J-1 (abscisse) par rapport à la concentration horaire mesurée pour J ; 1<sup>ère</sup> bissectrice  $x=y$  et droites d'erreur nulle  $x=0$  et  $y=0$  indiquées.

En combinant ces différentes variables par régression pour prédire la concentration pour l'heure  $h$  de  $J$ , nous obtenons les équations (en prenant le max entre le résultat et 0, pour ramener à 0 quelques valeurs négatives) :

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Ouest}(h)\} = \text{Max}[0, 0.314 * O_3^{j-\text{Max}\{0-10h\}} + 0.849 * O_3^{\text{Prevair } j}(h) - 25.952]$$

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Ouest}(h)\} = \text{Max}[0, 0.316 * O_3^{j-1}(h) + 0.757 * O_3^{\text{Prevair } j}(h) - 16.887]$$

Dans ces régressions, pour la concentration de 0 à 10h de  $J$ , la valeur maximale est privilégiée par rapport à la valeur moyenne, car elle présente une meilleure corrélation avec la concentration horaire sur la journée.

Notons la bonne similarité des coefficients de ces équations avec celles obtenues pour les maxima journaliers (voir paragraphes 4.5 et 4.6), illustrant la robustesse de l'approche.

Ces régressions conduisent à une estimation non biaisée des concentrations horaires pour  $J$ . Au vu de ces résultats et comme il est peu probable que l'on dispose pour la prévision  $J$  des 10 premières heures de la journée, il semble que le scénario Prev'Air associé à  $J-1$  soit à privilégier. La Figure 29 conforte cela : en effet, on note que l'utilisation de 0-10h au lieu de  $J-1$  contribue à une sous-estimation importante de certains points (fortes valeurs négatives en ordonnée) ; cela n'est pas étonnant, les concentrations entre 0 et 10h, même maximales, tendant à être inférieures aux concentrations observées sur la journée.

Cela dit, la réduction de variabilité des erreurs qui en résultent n'est pas réellement significative par rapport à la prévision résultant de Prev'Air seul.

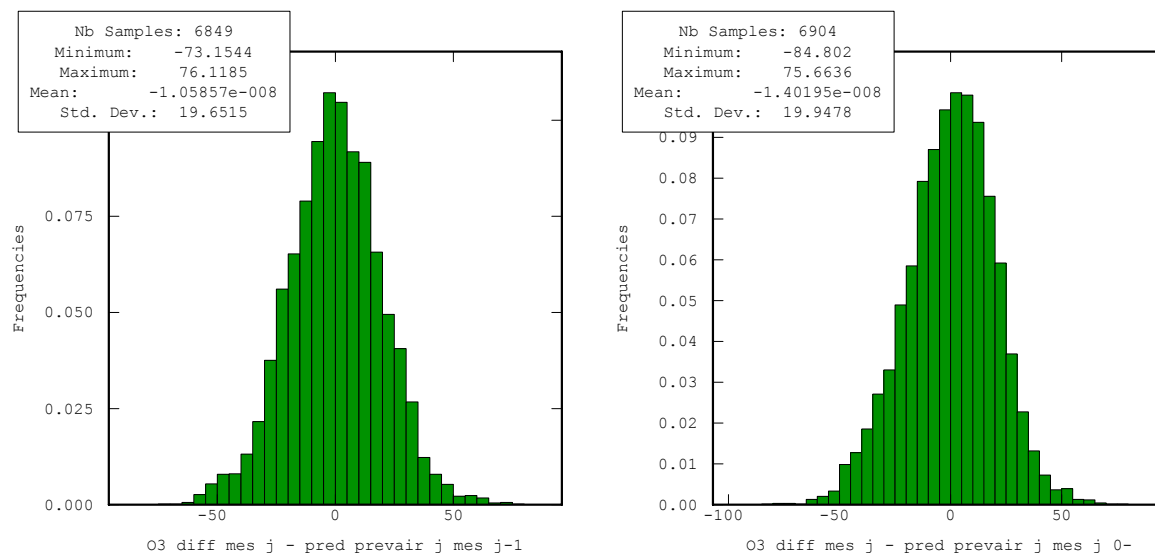


Figure 28 : Histogrammes et statistiques élémentaires des erreurs associées aux prévisions de la concentration horaire pour J par : la combinaison entre Prev’Air et concentration J-1 (gauche) et la combinaison entre Prev’Air et la concentration maximale pour J entre 0 et 10h (droite).

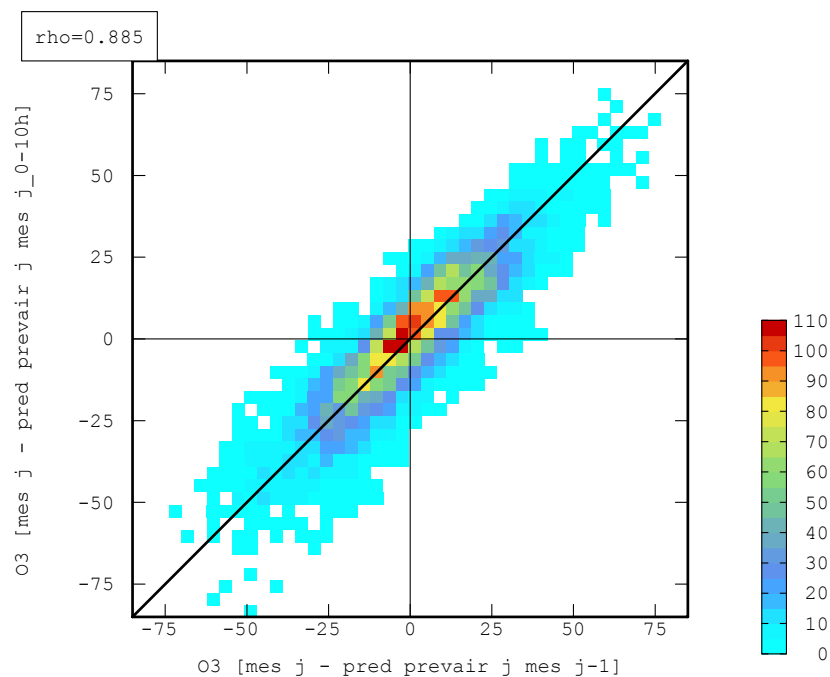
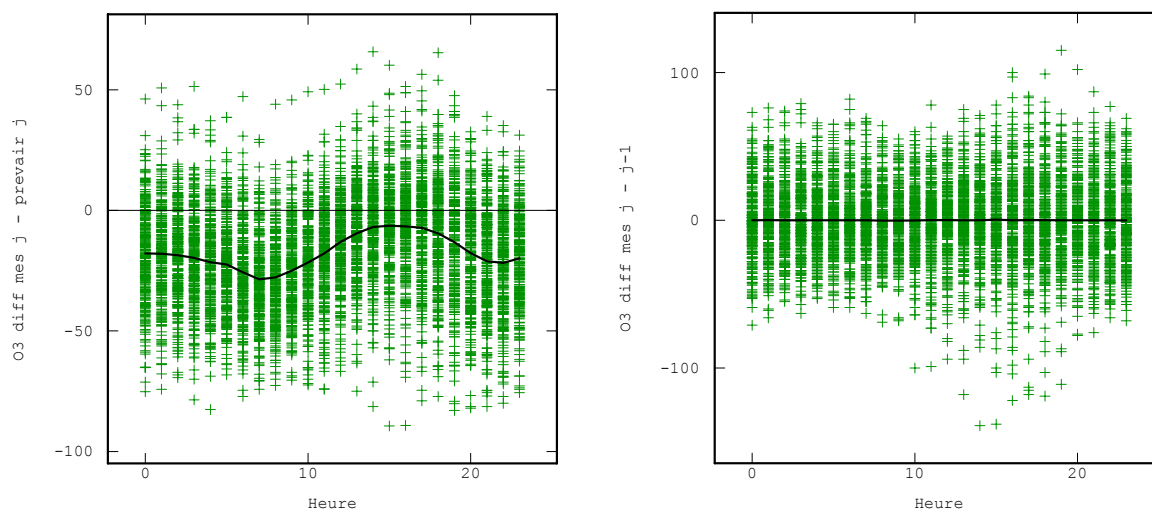


Figure 29 : Nuage de corrélation entre les erreurs associées aux prévisions horaires de Prev’Air et 0-10h (ordonnée) et de Prev’Air et J-1 (abscisse) par rapport à la concentration horaire de J ; 1<sup>ère</sup> bissectrice  $x=y$  et droites d’erreur nulle  $x=0$  et  $y=0$  indiquées.

Finalement, en étudiant en fonction de l’heure de la journée les erreurs associées à Prev’Air ou à la concentration mesurée en J-1 par rapport à la concentration horaire mesurée en J, on constate la variabilité temporelle du biais associé à Prev’Air. Ce biais est plus faible en fin d’après-midi, période d’observation fréquente des maxima en ozone. Cela s’explique vraisemblablement par la volonté des auteurs de Prev’Air de restituer correctement les maxima en ozone. Ce biais temporel au cours de la journée devrait pouvoir être pris en compte.

Pour sa part, le biais associé à J-1 reste nul au cours de la journée. Par contre, quelques fortes erreurs négatives sont notables en milieu d’après-midi ; ces valeurs doivent s’expliquer par

des fins d'épisode d'ozone, contribuant pour certaines heures de la journée à une concentration en J-1 plus importante qu'en J. Ce phénomène n'a cependant été observé que pour une trentaine d'heures réparties sur 6 journées de la période d'apprentissage.



**Figure 30 : Variabilité en fonction de l'heure de la journée (abscisse) des erreurs associées à la prévision horaire de Prev'Air (gauche) et à la concentration horaire mesurée en J-1 (droite) par rapport à la concentration horaire mesurée en J. La droite d'erreurs nulles  $y=0$  est indiquée (trait fin), ainsi que la courbe des heures moyennes observées pour chaque heure de la journée (trait épais).**

#### 4.11 Assimilation horaire pour STG Nord

En suivant la même méthodologie que pour STG Ouest, nous obtenons pour STG Nord la régression suivante :

$$\text{Pred}\{O_3^j \text{ Nord (h)}\} = 0.290 * O_3^{j-1}(h) + 0.735 * O_3^{\text{Prevair } j}(h) - 17.064$$

## 5 CONCLUSIONS

---

### 5.1 Contexte et méthodologie

Le travail avait pour objectif d'améliorer les prévisions de pollution de fond fournies par Prev'Air pour le dioxyde d'azote et l'ozone. Pour ces deux polluants, la prévision porte sur les maxima journaliers.

Il est important de garder à l'esprit que Prev'Air a pour objectif de prévoir des concentrations horaires et non uniquement des maxima journaliers. Il n'est donc pas forcément étonnant que les prédictions horaires soient meilleures, en particulier pour certaines heures d'intérêt, que les maxima journaliers, sans que cela ne remette en cause les qualités de ce modèle.

Ces prévisions par Prev'Air conduisent à un taux de bonne prédiction du sous-indice pour le jour J égal à :

- 11% pour le dioxyde d'azote, avec une très forte propension à la sous-estimation des maxima journaliers,
- 46% pour l'ozone, avec une tendance à la sur-estimation des maxima journaliers, en particulier faibles.

Différentes pistes d'amélioration ont été envisagées pour les deux polluants. Ces améliorations sont basées sur des régressions linéaires multiples réalisées à partir d'informations déjà disponibles quant aux maxima journaliers (assimilation des données de mesure du réseau fixe de l'ASPA). Les paramètres de ces régressions ont été déterminés à partir d'une période d'apprentissage de 10 mois, de décembre 2004 à septembre 2005.

Les nouvelles prédictions envisagées sont comparées aux mesures réelles (connues a posteriori) sur base de plusieurs critères :

- corrélation entre prédiction et mesure,
- distribution statistique des erreurs de prédiction,
- taux de bonne prédiction du sous-indice,
- taux de bonne prédiction de l'évolution du sous-indice entre J-1 et J.

### 5.2 Résultats pour le dioxyde d'azote

Pour le dioxyde d'azote, la prédiction de Prev'Air peut être remplacée par les données issues du dispositif de mesure fixe. Il semble intéressant pour ce polluant de privilégier la connaissance des concentrations maximales en début de journée et à compenser si besoin le faible nombre d'heures disponibles en début de journée, avant la prévision, par les concentrations maximales observées en J-1. Ainsi, les taux de bonne prédiction du sous-indice obtenus sont de l'ordre de 64 à 68%, en considérant que l'on dispose des dix premières heures de J.

Calculés indépendamment pour STG Nord et STG Ouest, qui servent de base au calcul de la pollution de fond entrée dans ADMS, ces taux de bonne prédiction passent à 68% (Nord) et 71% (Ouest).

A partir des mêmes variables explicatives, à savoir la concentration maximale en début de jour J éventuellement complétée par celle de J-1, le taux de bonne prédiction de la concentration maximale pour J+1 descend à 42% environ.

La prévision horaire peut être mise en place selon la même méthodologie, en combinant données horaires de la veille et du début de la journée. Le nombre d'heures disponible en début de journée reste un élément important pour ces prévisions horaires.

Les résultats d'assimilation horaire pour STG Nord et Ouest sont communiqués à l'ASPA afin de valider en pratique l'intérêt de ce nouveau mode de prévision.

### 5.3 Résultats pour l'ozone

Pour l'ozone, la prévision par Prev'Air a été conservée en raison de ses résultats déjà intéressants. Néanmoins, en la complétant par les concentrations maximales observées en début de journée ou à défaut la veille, le taux de bonne prédiction du sous-indice passe alors de 46% (Prev'Air seul) à 55% (Prev'Air et mesure J-1) voire 60% (Prev'Air et 0-10h J). En fonction du nombre d'heures disponibles en début de jour J, on peut donc attendre des taux de prédiction compris entre 55 et 60%.

Calculés indépendamment pour STG Nord et STG Ouest, ces taux de bonne prédiction passent à 60% (Nord) et 63% (Ouest).

A partir des mêmes variables explicatives, à savoir la prédiction de Prev'Air pour J éventuellement complétée par la concentration maximale du début de J, le taux de bonne prédiction de la concentration maximale pour J+1 descend à 40% (35% pour Prev'Air seul). On peut noter que la prise en compte, pour prédire J+1, de la prévision à J+1 de Prev'Air au lieu de la prévision à J conduit à une très légère baisse de qualité des résultats. Cela s'explique vraisemblablement par une moins bonne robustesse des résultats de Prev'Air à J+1 par rapport à J.

Finalement, concernant les prévisions horaires, les résultats obtenus par régression entre Prev'Air et J-1 contribuent essentiellement à corriger les biais observés sur les prévisions de Prev'Air, en particulier concernant les concentrations faibles et intermédiaires.

### 5.4 Perspectives

Ce travail gagnerait à être affiné et validé de plusieurs façons. Tout d'abord, il pourrait être intéressant de distinguer différents types de configurations, en fonction par exemple de conditions météorologiques types, sachant que ces dernières influent de façon non négligeable la qualité de l'air, en particulier pour l'ozone. Des régressions calées par type de saison pourraient ainsi améliorer les résultats de prédiction.

Ensuite, une fois connu le nombre d'heures disponibles en début de jour J qu'il est raisonnable d'attendre avant de fournir la prédiction du jour J, les régressions pourront être recalculées pour STG Ouest et Nord, voire pour la moyenne des deux stations qui est concrètement introduite comme valeur de fond dans ADMS.

Finalement, les taux de bonne prédiction ont été évalués uniquement sur la période d'apprentissage dont nous disposons, qui a comme son nom l'indique servi à déterminer les paramètres des régression. Il serait utile de valider la robustesse de l'approche en utilisant comme période d'évaluation des taux de bonne prédiction une période différente de la période d'évaluation, par exemple issue de l'année suivante.

Le travail réalisé montre par ailleurs l'intérêt d'une assimilation des mesures disponibles pour améliorer la prévision horaire. Il serait néanmoins intéressant d'exploiter les profils temporels

des polluants au cours la journée. A cette fin, nous pourrions envisager une approche consistant à prendre le profil de concentrations horaires mesuré la veille et à le recalculer en fonction du différentiel de concentrations :

- prédit par Prev'Air entre J-1 et J (pour l'ozone),
- mesuré en début de journée entre J-1 et J (dioxyde d'azote, éventuellement ozone).

Concernant l'ozone, la variabilité temporelle du biais lié à la prévision horaire par Prev'Air gagnerait en outre à être prise en compte et corrigée.

**ANNEXE : CALCUL DES INDICES DE QUALITE DE L’AIR ATMO (DOC.  
ASPA DR-242, V 3.2)**

---

## Indices de qualité de l'air ATMO

(Arrêté du 22 juillet 2004)

		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Particules
		Moyenne des maxima horaires des stations concernées			Moyenne des moyennes horaires des stations concernées
Mentions	Indices	Bornes supérieures en µg/m <sup>3</sup>			
Très bon	1	< 40	< 30	< 30	< 10
	2	< 80	< 55	< 55	< 20
Bon	3	< 120	< 85	< 80	< 30
	4	< 160	< 110	< 105	< 40
Moyen	5	< 200	< 135	< 130	< 50
Médiocre	6	< 250	< 165	< 150	< 65
	7	< 300	< 200	< 180	< 80
Mauvais	8	< 400	< 275	< 210	< 100
	9	< 500	< 400	< 240	< 125
Très mauvais	10	> = 500	> = 400	> = 240	> = 125

### L'INDICE DE QUALITE DE L'AIR (IQA) : DONNER UNE NOTE A L'AIR DE TOUS LES JOURS...

Pour faire simple avec du complexe, les IQA sont des indices chiffrés de 1 à 10 qui donnent une note à la qualité de l'air pour les polluants entrant dans sa construction : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>) et les particules (PM<sub>10</sub>). L'indice qualifiant une journée est le plus élevé des quatre, auquel est associé le qualificatif concordant, depuis «très bon» (indice 1) jusqu'à «très mauvais» (indice 10). L'ASPA diffuse un IQA sur des zones à caractère urbain (Strasbourg, Mulhouse, Colmar et Communauté des Trois Frontières), rural (Nord Est Alsace, Vosges du Nord, Vosges Moyennes et Hautes Vosges), et industriel (Chalampé – Ottmarsheim, Thann).

Un indice de qualité de l'air est obligatoirement calculé dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants, telles que définies dans l'annexe II du décret no 98-360 du 6 mai 1998 susvisé, par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air territorialement compétente. La zone géographique de référence est alors celle définie dans l'annexe III du décret no 98-360 du 6 mai 1998. L'indice calculé prend alors l'appellation d'« indice ATMO ». Cet indice est calculé conformément aux dispositions de l'article 3 du présent arrêté ;

Un indice de qualité de l'air peut être calculé dans des agglomérations ou des zones géographiques de moins de 100 000 habitants, telles que définies dans l'annexe II du décret no 98-360 du 6 mai 1998, par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air territorialement compétente. L'indice calculé prend alors l'appellation d'IQA, « indice de qualité de l'air simplifié ». Cet indice est calculé conformément aux dispositions de l'article 4 du présent arrêté.

De plus, l'ASPA diffuse un second indice pour les différents secteurs régionaux pour permettre de gérer la disparité des pollutions rurales et urbaines.