



**ETUDE DE LA REPARTITION SPATIALE  
DU DIOXYDE D'AZOTE  
SUR L'AGGLOMERATION RENNAISE  
AVEC ECHANTILLONNEURS PASSIFS  
Mai 2002 - Février 2003**

## SOMMAIRE

Introduction .....	2
I Présentation d'Air Breizh .....	3
II Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)	
II.1 Présentation générale .....	5
II.2 PPA de l'agglomération rennaise .....	5
III Le dioxyde d'azote	
III.1 Formation du NO <sub>2</sub> .....	6
III.2 Sources .....	6
III.3 Impact sur la santé et l'environnement .....	6
III.4 Valeurs de références .....	7
III.5 Influence des conditions climatiques sur la pollution atmosphérique .....	7
IV Campagne de mesure	
IV.1 Les échantillonneurs à diffusion passive de type Gradko	
IV.1.1 Principe .....	8
IV.1.2 Avantages et inconvénients des tubes à diffusion passive .....	8
IV.1.3 Critères d'implantation des échantillonneurs .....	9
IV.1.4 Conservation et transport des tubes .....	9
IV.1.5 Calcul des concentrations .....	10
IV.2 Stratégie d'échantillonnage .....	12
IV.3 Résultats	
IV.3.1 Validation des résultats .....	13
IV.3.2 Interprétation .....	17
IV.3.3 Cartographie .....	19
IV.3.4 Comparaison été / hiver .....	21
Conclusion .....	22
Glossaire .....	23
Annexes	

## **INTRODUCTION**

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Protection de l'Atmosphère de Rennes, Air Breizh a réalisé, en partenariat avec la DRIRE Bretagne, une étude sur la répartition spatiale de la pollution par le dioxyde d'azote sur l'agglomération.

Plus de quatre-vingts sites répartis sur la zone d'étude ont fait l'objet de mesures, à différentes périodes de l'année, au moyen de tubes à diffusion passive.

Ces campagnes de mesures, réalisées en été 2002 et hiver 2002-2003, ont permis d'estimer une concentration moyenne sur chacun de ces sites.

La répartition de la pollution a été modélisée avec le logiciel ISATIS, grâce à l'aimable concours de Lig'Air, le réseau de surveillance de la région Centre.

Cette étude a fait l'objet d'un stage de six mois au sein d'Air Breizh.

# I PRESENTATION D'AIR BREIZH

## Historique et missions

La surveillance de la qualité de l'air a débuté à Rennes en 1986. L'ASQAR, alors chargée de cette surveillance, s'est régionalisée en décembre 1996, devenant AIR BREIZH. Depuis dix-huit ans, le réseau de surveillance s'est régulièrement développé, et dispose aujourd'hui de stations de mesures sur une dizaine de villes bretonnes.

Air Breizh est l'une des quarante associations françaises de surveillance de la qualité de l'air constituant le dispositif national ATMO. Ces associations loi 1901, agréées par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, sont aujourd'hui implantées dans toutes les villes de plus de 100 000 habitants.

Les missions d'Air Breizh sont de :

- **Mesurer** en continu les polluants urbains nocifs (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> et poussières de diamètre inférieur ou égal à 10 µm appelées PM10) dans l'air ambiant.
- **Informer** les services de l'Etat, les élus, les industriels et le public, notamment en cas de pic de pollution.
- **Etudier** l'évolution de la qualité de l'air au fil des ans et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.

## Partenaires et moyens

Le réseau regroupe les différents partenaires impliqués dans les problèmes de pollution atmosphérique en Bretagne, répartis en quatre collèges :

- Collège 1 : Services de l'Etat et établissements publics,
- Collège 2 : Collectivités locales et territoriales,
- Collège 3 : Représentants des émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : Associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

Air Breizh dispose d'un budget d'environ 900 000 euros, financé à hauteur de 44% par l'Etat, via des subventions directes ou la réaffectation de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes, 25% par les collectivités locales, 25% par les industriels, et 6% par des prestations et produits financiers.

## Réseau de mesures

### *Stations de mesure fixes*

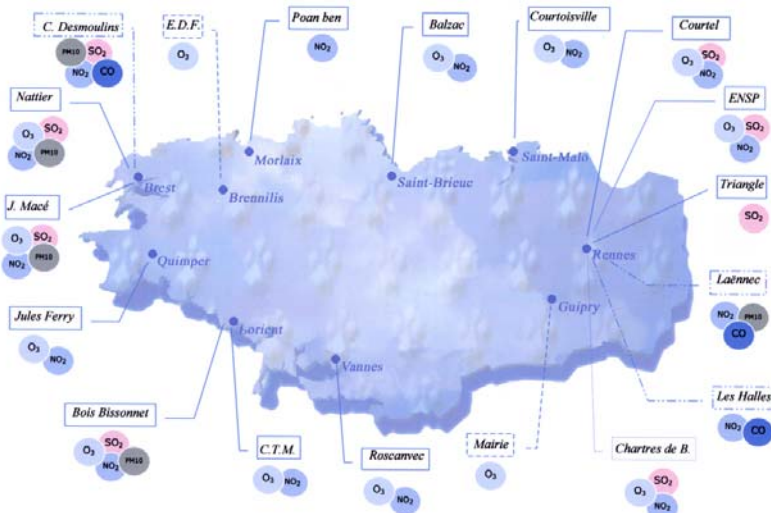
Une quarantaine d'analyseurs, répartis sur dix-huit stations fixes, permet de mesurer en continu différents polluants dans dix villes bretonnes.

Stations urbaines

Stations trafics

Station périurbaine

Station rurale régionale



Ces stations de mesures sont classées selon leurs objectifs de surveillance :

**Station urbaine** : suivre le niveau d'exposition moyen de la population à la pollution atmosphérique de fond dans les centres urbains.

**Station périurbaine** : suivre le niveau d'exposition moyen de la population à la pollution atmosphérique de fond et à des maxima de pollution photochimique à la périphérie des centres urbains.

**Station rurale régionale** : suivre l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

**Station trafic** : fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximal d'exposition auquel la population située à proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée.

### **Laboratoire mobile**

Le réseau dispose d'un laboratoire mobile afin d'étudier la qualité de l'air de zones non couvertes par les stations de mesures fixes.

Tout au long de l'année, des études sont menées à la demande des membres de l'association.

Des campagnes sont également organisées lors de l'implantation de nouvelles stations de mesures.

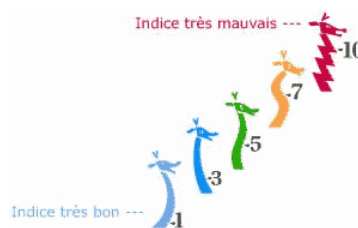
### **Information – Sensibilisation**

Les données des stations de mesures, actualisées trois fois par jour, sont disponibles sur le site Internet [www.airbreizh.asso.fr](http://www.airbreizh.asso.fr).

### **Indice ATMO et Indicateur de la Qualité de l'Air**

L'association calcule chaque jour l'indice ATMO sur la base de quatre polluants (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM10), pour Brest, Lorient et Rennes. Cet indice quotidien, qui varie de 1 (très bon) à 10 (très mauvais), caractérise la qualité de l'air d'une ville. Il est diffusé aux médias et aux collectivités locales concernées.

Un Indicateur de la Qualité de l'Air (IQA) est également calculé pour les agglomérations non équipées des quatre analyseurs et des deux stations nécessaires au calcul de l'indice ATMO, comme Quimper, Saint-Brieuc, Saint-Malo et Vannes.



Air Breizh participe à différentes manifestations, journées sans voiture, salons (Ludomania...) et intervient dans les établissements scolaires afin d'informer et de sensibiliser le grand public à la qualité de l'air.

Des campagnes d'affichage sont régulièrement mises en place dans les villes surveillées.

Enfin, l'association publie divers documents de communication : bulletins trimestriels, bilans annuels, plaquettes...

## **II PLAN DE PROTECTION DE L'ATMOSPHERE (PPA)**

### **II.1 Présentation générale**

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 exige qu'un Plan de Protection de l'Atmosphère soit mis en place par le préfet de département dans toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Le PPA doit être compatible avec les orientations du Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA).

Son objectif est de ramener la concentration en polluants à un niveau inférieur aux valeurs limites, et de définir les modalités de la procédure d'alerte. Celle-ci est déclenchée dès que le seuil d'alerte est atteint, ou risque de l'être, sur deux stations d'une même agglomération.

### **II.2 PPA de l'agglomération rennaise**

Le PPA de l'agglomération de Rennes fait intervenir les différents acteurs impliqués dans les problèmes de pollution atmosphérique : administrations, industriels, associations...

Sont pris en compte : le dioxyde de soufre, les poussières PM10, le dioxyde d'azote, l'ozone, les composés organiques volatils, le monoxyde de carbone et les métaux toxiques.

Son élaboration s'est déroulée en deux phases : une première phase de recueil des connaissances, puis une phase d'élaboration du projet de document final.

Les participants au PPA se sont répartis en quatre groupes de travail :

- Qualité de l'air et santé, animé par la DRASS (auquel a participé Air Breizh durant la première phase de recueil des connaissances),
- Connaissance et maîtrise des sources mobiles, animé par la DDE,
- Connaissance et maîtrise des sources fixes, animé par l'ADEME,
- Information et implication du public, animé par la Préfecture (auquel participe Air Breizh dans la deuxième phase).

Les valeurs limites n'étant jamais atteintes sur les stations de mesures rennaises, le PPA porte essentiellement sur la communication, avec sensibilisation des industriels et du grand public, et recommandations.

C'est dans ce cadre qu'Air Breizh a réalisé, en partenariat avec la DRIRE, une étude sur la répartition spatiale de la pollution par le dioxyde d'azote, en effectuant des campagnes de mesures sur près de quatre-vingts sites répartis sur toute l'agglomération.

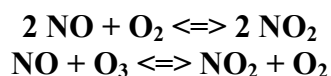
## III LE DIOXYDE D'AZOTE

### III.1 Formation du NO<sub>2</sub>

Le monoxyde d'azote NO se forme par combinaison de l'azote N<sub>2</sub> et de l'oxygène O<sub>2</sub> lors des combustions à hautes températures :



Le monoxyde d'azote NO est rapidement oxydé en dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> par réaction avec d'autres oxydants de l'air (oxygène O<sub>2</sub>, ozone O<sub>3</sub>, ...):



### III.2 Sources

Le transport routier est le principal émetteur de dioxyde d'azote sur l'agglomération rennaise. Si le perfectionnement du rendement des moteurs, l'instauration du pot catalytique en 1993, et l'amélioration de la qualité des carburants, ont entraîné une réduction unitaire des émissions, celle-ci a été compensée par la hausse régulière du trafic routier.

La part des secteurs industriel, résidentiel et tertiaire est moindre. L'industrie lourde est peu développée sur l'agglomération rennaise. Une dizaine d'établissements émettraient plus de 20 tonnes de NO<sub>x</sub> par an, dont six soumis à la TGAP.

### III.3 Impact sur la santé et l'environnement

Le monoxyde d'azote passe à travers les alvéoles pulmonaires, puis se dissout dans le sang, empêchant la bonne fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Par voie de conséquence, les organes sont moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote, plus dangereux, pénètre dans les voies respiratoires profondes et fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses. Pour les asthmatiques, cela se traduit par une augmentation de la fréquence et de la gravité des crises. Chez l'enfant, l'exposition au NO<sub>2</sub> peut favoriser les infections pulmonaires.

Le NO<sub>2</sub> participe au phénomène des pluies acides, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre. C'est un précurseur dans la formation de l'ozone troposphérique (basse atmosphère).

### III.4 Valeurs de référence

	Objectif de qualité	Seuil de recommandations et d'information	Seuil d'alerte	Valeur limite
Décret du 15.02.2002	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire  200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire si la procédure d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain	<p><i>Protection de la santé</i></p> <p><b>centile 98</b> des concentrations horaires (175 heures de dépassement autorisées sur l'année) = 200 µg/m<sup>3</sup> jusqu'au 31.12.2009</p> <p><b>centile 99,8</b> des concentrations horaires (18 heures de dépassement autorisées sur l'année) = 200 µg/m<sup>3</sup> à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2010, avec une marge de dépassement autorisée de 80 µg/m<sup>3</sup> en 2002</p> <p><b>Moyenne annuelle</b> = 40 µg/m<sup>3</sup> à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2010, avec une marge de dépassement autorisée de 16 µg/m<sup>3</sup> en 2002</p> <p><i>Protection de la végétation</i></p> <p>Moyenne annuelle : 30 µg/m<sup>3</sup> d'oxydes d'azote (NO + NO<sub>2</sub>)</p>
Arrêté préfectoral d'Ille et Vilaine du 14 juin 2001 modifié le 16 octobre 2002		200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire ou 200 µg/m <sup>3</sup> dépassé pendant 3 heures consécutives	<p><i>Procédure de mise en vigilance des services techniques</i></p> <p>120 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p> <p><i>Procédure de recommandation et d'information</i></p> <p>200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p> <p><i>Procédure d'alerte</i></p> <p>400 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p>

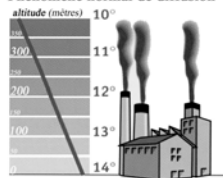
### III.5 Influence des conditions climatiques sur la pollution atmosphérique

**Le vent et la pluie** sont des facteurs de réduction des niveaux de polluants. Le premier disperse les polluants, la seconde les absorbe et les entraîne au sol. Cependant, le vent peut parfois provoquer une hausse des concentrations, par un phénomène de panache rabattant les polluants émis par une source fixe, ou par transport des polluants émis dans d'autres régions, voire d'autres pays.

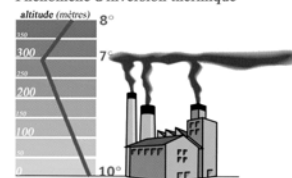
**Le froid** peut engendrer une augmentation des émissions de polluants issus de la combustion par le fonctionnement accru des installations de chauffage. Les niveaux de polluants sont d'autant plus élevés que l'atmosphère est alors souvent stable.

En situation normale, la température de l'air diminue avec l'altitude. L'air chaud, plus léger que l'air froid, s'élève, entraînant les polluants émis au sol. Cependant, la nuit, ou lors d'un anticyclone hivernal, la température peut diminuer avec l'altitude, puis augmenter de nouveau, créant une **inversion thermique**. L'air froid du dessous se trouve alors bloqué par l'air chaud du dessus appelé « couche d'inversion ». Ce phénomène peut générer des pics de pollution lors de fortes émissions, notamment aux heures de pointe du trafic routier.

Phénomène normal de diffusion



Phénomène d'inversion thermique



**L'ensoleillement**, associé à **des températures élevées**, favorise la formation d'ozone par réaction photochimique entre le dioxyde d'azote et les composés organiques volatils.

## IV CAMPAGNE DE MESURES

### IV.1 Les échantillonneurs à diffusion passive de type Gradko

*Sources*

*Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, ADEME, septembre 2002*

*Classification et critères d'implantation de stations de surveillance de la qualité de l'air, ADEME, décembre 1998*

#### IV.1.1 Principe

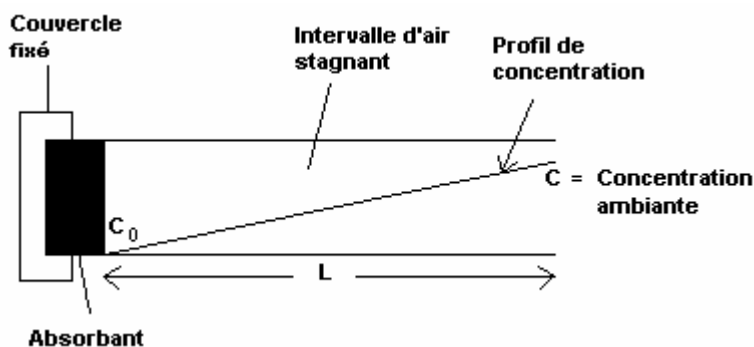
L'échantillonnage passif est basé sur le transfert de matière d'une zone à une autre par convection naturelle et diffusion due à un gradient de concentration.

Les polluants sont piégés par un capteur contenant un adsorbant (charbon actif par exemple) ou un absorbant spécifique (support solide imprégné de réactif chimique). Le dioxyde d'azote est piégé par absorption dans une solution de triéthanolamine (TEA).

L'échantillonneur passif de type Gradko se présente sous la forme d'un tube cylindrique en plexiglas de 7 cm de long et d'1 cm de diamètre. A l'une de ses extrémités sont installées deux grilles en acier inoxydable (de 1,2 cm de diamètre ; 4 mailles par mm) imprégnées de 50  $\mu$ l d'une solution de Triéthanolamine (TEA) à 10%.



Site des Longs Champs



#### IV.1.2 Avantages et inconvénients des tubes à diffusion passive

Les tubes à diffusion passive ne nécessitent pas d'alimentation électrique et peu d'entretien. La préparation et la mise en place sont simples. Leur faible coût rend possible l'utilisation d'échantillonneurs en grand nombre.

Cependant, cette technique ne donne pas d'information sur les concentrations en temps réel, à la différence des analyseurs. Elle permet d'estimer une concentration moyenne sur la durée de l'échantillonnage, et non de détecter les pics de pollution.

### IV.1.3 Critères d'implantation des échantillonneurs

L'implantation des tubes à diffusion respecte au mieux les critères nationaux d'implantation de stations fixes.

- Un site trafic doit être situé à moins de 5 mètres d'une infrastructure routière où circulent 10 000 véhicules par jour.
- Un site urbain doit respecter les conditions suivantes :

Débit en véhicules/jour	Distance minimale à la voie en mètres
< 1000	-
1000 à 3000	10
3000 à 6000	20
6000 à 15000	30
15000 à 40000	40
40000 à 70000	100
> 70000	250

- Une distance minimale de 1 mètre de toute structure porteuse, avec un dégagement libre de tout obstacle d'au moins 180° pour un mur et de 270° sur un toit est souhaitable.
- Il est recommandé de poser les tubes entre 3 et 4 mètres du sol en site urbain, pour des raisons de vandalisme (le critère d'implantation des stations fixes est compris entre deux et quinze mètres), et entre 2 et 3 mètres du sol pour les sites trafic.
- Les supports de type pylône sont choisis en priorité. Les troncs d'arbres sont à éviter si possible en été en raison des interférences avec les feuilles. La pose des tubes sur les troncs peut être acceptée en hiver, hors période de végétation.
- L'usage de boîtes de protection pour les tubes NO<sub>2</sub> de type Gradko n'est pas obligatoire mais recommandé. Etant donné le nombre élevé de sites, les tubes ne seront pas protégés par des boîtes durant cette étude, pour des raisons de coût.

Enfin, les échantillonneurs passifs implantés sur les stations de mesures automatiques sont placés au plus près de la tête de prélèvement, à des fins de comparaison.

### IV.1.4 Conservation et transport des tubes

Avant et après la pose, il est recommandé de conserver les tubes au réfrigérateur. L'envoi peut se faire sans réfrigération par transporteur ou par la Poste.

Le transport est effectué par Chronopost (en 24 heures).

### IV.1.5 Calcul des concentrations

Le dioxyde d'azote se déplace dans le tube par diffusion moléculaire jusqu'au support imprégné de l'absorbant, où il est piégé. Les concentrations de NO<sub>2</sub> sont calculées à partir de la première loi de Fick, en fonction de la masse échantillonnée et du temps d'exposition.

$$F = -D_{\text{NO}_2} \frac{\partial C_{\text{NO}_2}}{\partial z}$$

où :

- F = flux de NO<sub>2</sub> (en µg/cm<sup>2</sup>/s),  
D<sub>NO<sub>2</sub></sub> = coefficient de diffusion moléculaire du NO<sub>2</sub> dans l'air (en cm<sup>2</sup>/s)  
C<sub>NO<sub>2</sub></sub> = concentration du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant (en µg/cm<sup>3</sup>)

Pour un échantillonneur tubulaire de longueur z et de section interne π.r<sup>2</sup> parcouru par un gradient de concentration (C<sub>NO<sub>2</sub></sub> – Cs) le long de celui-ci, la masse m de NO<sub>2</sub> transférée pendant un temps t est déterminée avec la forme intégrée de la loi de Fick :

$$M = F_1 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t = \frac{D_{\text{NO}_2} \cdot (C_{\text{NO}_2} - C_s) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t}{Z}$$

Où :

- M = masse de NO<sub>2</sub> échantillonnée (en µg)  
r = rayon interne du tube (en cm)  
t = temps (en secondes)  
Cs = concentration du NO<sub>2</sub> au contact du support (en µg/cm<sup>3</sup>)

Cs étant considérée comme nulle au voisinage de l'absorbant, l'expression de m se simplifie :

$$M = \frac{D_{\text{NO}_2} \cdot C_{\text{NO}_2} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t \text{ (en } \mu\text{g)}}{Z}$$

D'où

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{m \cdot z \text{ (en } \mu\text{g/cm}^3\text{)}}{D_{\text{NO}_2} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t}$$

Le débit de diffusion ((D<sub>NO<sub>2</sub></sub>.π.r<sup>2</sup>.t) / z) dépend des dimensions du tube, r et z, et du coefficient de diffusion de NO<sub>2</sub> dans l'air relevé dans les tables de constantes. La masse de NO<sub>2</sub> échantillonnée pendant un temps t est déterminée par spectrophotométrie.

#### Application numérique

Pour le modèle de tube (version 99) Gradko, les caractéristiques sont :

r = 0,5455 cm  
z = 7,116 cm

D<sub>NO<sub>2</sub></sub> = 0,154 cm<sup>2</sup>/s (à 21,1°C et 1013 hPa)  
Ou 554,4 cm<sup>2</sup>/h (à 21,1°C et 1013 hPa)

Le débit d'échantillonnage est égal à :  $\frac{D_{NO_2} \cdot \pi \cdot r^2}{z} = 0,0202 \text{ cm}^3/\text{s}$  ou  $72,72 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{h}$ .

Si  $m$  est la masse (en microgrammes) échantillonnée de  $\text{NO}_2$  pendant le temps d'exposition  $t$  (en heures),

- La concentration en  $\text{NO}_2$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est égale à :

$$C_{NO_2} = \frac{M}{t \cdot 72,72 \cdot 10^{-6}} = 13738 \frac{m \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)}{t}$$

Théoriquement, les tubes à diffusion sont peu adaptés aux sites trafic. Cependant, de nombreuses études de réseaux ont donné des résultats satisfaisants par cette méthode.

Neuf sites trafic ont fait l'objet de prélèvement. Leurs résultats, également déterminés à partir de la 1<sup>ère</sup> loi de Fick, seront interprétés avec précaution.

## IV.2 Stratégie d'échantillonnage

Afin d'évaluer au mieux des niveaux moyens en NO<sub>2</sub>, en s'affranchissant des conditions météorologiques, tout en limitant le nombre de campagnes, plusieurs séries de prélèvements ont été organisées en été et en hiver, ces deux saisons représentant théoriquement les conditions extrêmes d'une année.

Les tubes ont été exposés deux semaines sur les sites urbains et une semaine sur les sites trafic.

### Campagne estivale du 3 mai 2002 au 26 juillet 2002

<b>Période 1</b>	Du 3 mai 2002 au 17 mai 2002
<b>Période 2</b>	Du 17 mai 2002 au 31 mai 2002
<b>Période 3</b>	Du 31 mai 2002 au 14 juin 2002
<b>Période 4</b>	Du 14 juin 2002 au 28 juin 2002
<b>Période 5</b>	Du 28 juin 2002 au 12 juillet 2002
<b>Période 6</b>	Du 12 juillet 2002 au 26 juillet 2002

### Campagne hivernale du 18 novembre 2002 au 10 février 2003

<b>Période 1</b>	Du 18 novembre 2002 au 2 décembre 2002
<b>Période 2</b>	Du 2 décembre 2002 au 16 décembre 2002
<b>Période 3</b>	Du 16 décembre 2002 au 30 décembre 2003
<b>Période 4</b>	Du 30 décembre 2002 au 13 janvier 2003
<b>Période 5</b>	Du 13 janvier 2003 au 27 janvier 2003
<b>Période 6</b>	Du 27 janvier 2003 au 10 février 2003

Le nombre de sites, initialement fixé à 87, a été réduit à 78, en raison de fréquentes disparitions de tubes. (Description des sites en annexe 1).

Des tubes témoins, appelés « blancs », ont permis de contrôler la qualité des résultats de mesure :

- Les blancs « frigo », conservés au réfrigérateur de la réception des tubes à l'envoi au laboratoire.
- Les blancs « transport », qui ont suivi, sans être ouverts, le parcours des tubes lors de la pose, et ont été conservés au réfrigérateur avant et après la pose.

Des tubes ont été installés sur les stations fixes afin de comparer leurs résultats à ceux des analyseurs. La concentration mesurée par l'analyseur, régulièrement étalonnée, est considérée comme valeur de référence.

Un éventuel défaut de répétabilité, dû à la préparation des tubes et/ou à l'analyse, peut être détecté par la multiplication de tubes sur un même site. Des triplets ont été installés au niveau des stations fixes.

La pose des tubes a été effectuée avec la participation des services de la Ville de Rennes. Le laboratoire Calydra, accrédité COFRAC, a assuré la préparation et l'analyse de ces tubes.

## IV.3 Résultats

La concentration moyenne d'un site est calculée à partir des moyennes des campagnes estivales et hivernales (Annexe 2).

Une période de deux semaines invalidée invalide les résultats des sites trafic correspondants.

### IV.3.1. Validation des résultats

#### Vérification des blancs

*Masse de NO<sub>2</sub> analysée dans les blancs (en ng)*

	ETE						HIVER					
	Pér. 1	Pér. 2	Pér. 3	Pér.4	Pér.5	Pér.6	Pér. 1	Pér. 2	Pér. 3	Pér.4	Pér.5	Pér.6
Blanc frigo 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	78	< 10	< 10	< 10
Blanc frigo 2	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Blanc frigo 3	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	15	< 10	11	< 10	< 10	< 10
Blanc transport 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	17	< 10	21	< 10	< 10	< 10
Blanc transport 2			< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	54	< 10	< 10	< 10
Blanc transport 3			< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	24	< 10	< 10	< 10
Blanc transport 4			< 10	< 10	< 10	< 10	15	< 10	15	< 10	< 10	< 10

La limite de quantification du laboratoire est de 10 ng.

Une majorité des blancs frigo et transport présente une masse de NO<sub>2</sub> très faible, inférieure à 10 ng. On estime que ces tubes ne sont pas contaminés et que le transport n'a pas influé sur le résultat final.

Une légère augmentation de la masse de NO<sub>2</sub> est observée pour trois blancs de la période 1 hivernale. Cependant, ces masses sont négligeables par rapport à la quantité piégée par un tube sur 15 jours d'exposition sur site (moins de 3%).

Les blancs de la période 3 hivernale présentent des masses en NO<sub>2</sub> plus importantes et disparates. Cette contamination peut être due à la préparation des tubes ou à un problème d'analyse (analyse effectuée au laboratoire pendant les périodes de fêtes de fin d'année).

Les résultats de la période 3 hivernale sont susceptibles d'être invalidés.

#### Vérification de la répétabilité des échantillonneurs passifs

La répétabilité est basée sur la multiplication des tubes.

L'écart relatif est calculé pour chaque tube selon la formule :

$$ER (\%) = ((M - m_i) / M) \times 100$$

Où M est la concentration moyenne de la série (en µg/m<sup>3</sup>)  
m<sub>i</sub> est la concentration d'un tube (en µg/m<sup>3</sup>)

*Ecarts relatifs des tubes en % (concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

		Période 1		Période 2		Période 3		Période 4		Période 5		Période 6		
ETE		Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	
	75F 1	x		11	-11,9	9	-10,3	10	6,1	9	18,9	x		
	75F 2	11	5,5	9	3,8	7	8,7	11	-2,3	11	-6,1	7	-4,4	
	75F 2	12	-5,5	9	8,1	8	1,7	11	-3,8	12	-12,7	6	4,4	
	Moy	11,8		9,7		8,1		10,8		10,5		6,5		
		Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	
	77F 1	15	5,0	11	-1,1	9	-5,8	18	-12,5	x		15	4,6	
	77F 2	16	-2,4	12	-4,7	9	-4,9	17	-1,8	x		16	-2,8	
	77F 3	16	-2,7	11	5,8	8	10,6	14	14,3	x		16	-1,8	
	Moy	16,0		11,2		9,0		16,4				15,3		
		Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	
	78F 1	16	-0,3	17	9,0	13	3,4	14	-9,7	17	5,8	6	-2,2	
78F 2	18	-10,3	20	-10,0	14	0,5	14	-12,3	18	-2,9	7	-37,0		
78F 3	14	10,6	18	1,0	14	-3,9	10	21,9	18	-2,9	3	39,3		
Moy	16,1		18,2		13,9		12,5		17,5		5,4			
HIVER		Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	Conc.	ER	
	75F 1	26	-5,4	30	-3,4	11	23,3	25,6	1,2	29,6	-0,3	28,9	5,6	
	75F 2	19	23,0	27	6,9	10	30,2	23,8	8,1	31,4	-6,4	31,6	-3,3	
	75F 3	29	-17,6	30	-3,4	22	-53,5	28,2	-8,9	27,4	7,1	31,3	-2,3	
	Moy	24,7		29,0		14,3		25,9		29,5		30,6		

*x : concentration non déterminée*

Les tubes présentant des anomalies au ramassage (insectes,...) ne sont pas pris en compte dans cette vérification.

Les écarts relatifs sont globalement faibles (moyenne  $|\text{ER}| = 8,8 \%$ ). La répétabilité est correcte pour tous les triplets, excepté pour les triplets 78F de la période 6 estivale et 75F de la période 3 hivernale. On peut néanmoins considérer les valeurs de la période 6 estivale acceptables en raison des concentrations particulièrement faibles des triplets (entre 3 et 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ce n'est pas le cas de la période 3 hivernale, pour laquelle les écarts sont plus significatifs, à l'instar des blancs correspondant à cette période.

### Validation des campagnes de mesures

Au vu des résultats des blancs et des triplets, l'ensemble des périodes estivales, ainsi que les périodes 1, 2, 4, 5 et 6 de la campagne hivernale pourraient être validés.

Cependant, la période 1 estivale sera invalidée, la pose des tubes s'étant faite sur deux jours, le vendredi 3 et le lundi 6 mai 2002, suite à un problème logistique.

La période 3 hivernale est également invalidée en raison de la contamination des blancs et de la répétabilité suspecte des triplets.

**Représentativité des périodes de mesures**

Les concentrations annuelles déterminées avec les analyseurs sur les stations fixes sur les années 2002 et 2003 sont comparées aux concentrations moyennes mesurées avec ces mêmes analyseurs sur l'ensemble des périodes validées.

	<b>Courtél</b>	<b>Ch. Bret.</b>	<b>ENSP</b>
<b>Moyenne des concentrations des analyseurs sur l'année 2002</b> (en µg/m <sup>3</sup> )	16	17	20
<b>Moyenne des concentrations des analyseurs sur l'année 2003</b> (en µg/m <sup>3</sup> )	18	19	24
<b>Moyenne des concentrations des analyseurs sur les périodes d'étude comprises entre mai 2002 et février 2003</b> (en µg/m <sup>3</sup> )	17	19	22

Les résultats sont du même ordre de grandeur.

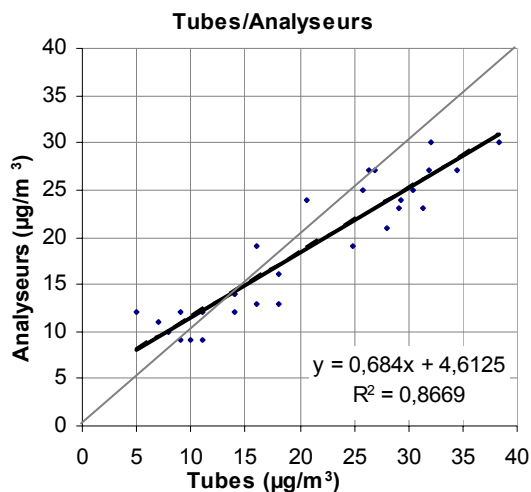
**Comparaison tubes / analyseurs par période**

		<b>Courtél (75F)</b>			<b>Chartres de Bretagne (77F)</b>			<b>ENSP (78F)</b>		
		Tube (µg/m <sup>3</sup> )	Analyseur (µg/m <sup>3</sup> )	Tube/analyseur	tube	analyseur	Tube/analyseur	tube	analyseur	Tube/analyseur
<b>ETE</b>	Période 2	10	9	1,11	14	12	1,17	18	16	1,13
	Période 3	8	10	0,80	9	12	0,75	14	14	1,00
	Période 4	11	12	0,92	16	19	0,84	14	14	1,00
	Période 5	11	9	1,22	9	9	1,0	18	13	1,38
	Période 6	7	11	0,64	16	13	1,23	5	12	0,42
<b>HIVER</b>	Période 1	25	19	1,32	28	21	1,33	34	27	1,26
	Période 2	29	23	1,26	32	27	1,19	38	30	1,27
	Période 4	26	25	1,04	26	27	0,97	27	27	1,00
	Période 5	29	24	1,23	21	24	0,86	32	30	1,07
	Période 6	31	25	1,22	31	23	1,36	ND*	30	ND*

\* non déterminée

Le ratio moyen tube/analyseur est de 1,07.

Les tubes tendent à surestimer légèrement les données des analyseurs pour les concentrations les plus élevées.



**Comparaison des moyennes déterminées à partir des tubes avec les moyennes annuelles des analyseurs**

	<b>Courtel (75F)</b>	<b>Ch. Bret. (77F)</b>	<b>ENSP (78F)</b>
<b>Moyenne des concentrations à partir des tubes (en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	19	20	23
<b>Moyenne annuelle des concentrations en 2002 des analyseurs (en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	16	17	20
<b>Moyenne annuelle des concentrations en 2003 des analyseurs (en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	18	19	24

Les concentrations moyennes déterminées avec les tubes à diffusion sont du même ordre de grandeur que les concentrations annuelles déterminées sur les stations de mesures.

**Conclusion**

En définitive, au regard des données, on considère que l'étude par les échantillonneurs passifs assure une représentativité relativement fiable des concentrations moyennes en dioxyde d'azote, sans négliger cependant l'incertitude liée à cette méthode, et la tendance de la méthode à surestimer la concentration mesurée avec les analyseurs pour les concentrations les plus élevées.

## IV.3.2. Interprétation des résultats

### Sites urbains (pollution de fond)

Les concentrations moyennes calculées sur près de 70 sites de fond, sont comprises entre 14 et 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les niveaux les plus élevés sont mesurés :

- Dans le centre-ville :
  - Place de la Mairie 47F (32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Rue de la Parcheminerie 1F (27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Rue Rallier du Baty 48F (26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Square A. Fergent 49F (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  
- Aux abords des rocade ouest et sud :
  - Hôpital sud 24F (28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Stade Salengro 23F (26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  
- Ainsi qu'à la Robiquette 63F (26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), au nord-ouest de Rennes,
- Dans le quartier de Villejean, sur la Dalle Kennedy 59F (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- Au niveau de la Caserne Foch 7F (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- Au niveau du CHS 38F (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- Au parc de la Guérinais 11F (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), à l'ouest de Rennes, près de la Sagesse.

Les concentrations les plus basses correspondent généralement à des espaces verts de grande surface, éloignés des voies à fort trafic et bénéficiant d'une bonne dispersion du polluant :

- Au nord-est de Rennes :
  - Parc des Gayeulles 71F (14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Parc du Conseil Régional 65F (17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  
- Au sud-est de Rennes :
  - Cimetière de l'est 35F (16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Rue M. Ponnvoy 31F (17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - Parc des Hautes Ourmes 29F (17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

La pollution par le dioxyde d'azote du centre-ville provient à la fois du transport routier et du secteur résidentiel et tertiaire. L'importance du trafic, auquel s'ajoute une mauvaise fluidité et un nombre important de cycles « arrêt – démarrage », favorisent les émissions de NO, tout comme la forte concentration d'habitations et d'établissements du tertiaire, émetteurs par leurs installations de chauffage.

Les niveaux élevés mesurés aux alentours de la rocade sont dus à la fréquentation très importante de cet axe routier par les véhicules particuliers et les poids lourds consommant entre 20 et 40 litres de gazole aux 100 kilomètres.

**Sites trafic (pollution de proximité)**

Les concentrations en NO<sub>2</sub> sont comprises entre 34 et 60 µg/m<sup>3</sup> sur les sites trafic.

Les niveaux les plus élevés sont observés aux carrefours des grands axes automobiles :

- Rue de Saint-Malo 1P (60 µg/m<sup>3</sup>)
- Avenue Janvier 7P (53 µg/m<sup>3</sup>)
- Place de Bretagne 5P (50 µg/m<sup>3</sup>)

Le trafic y est très important (de 30 000 à 40 000 véhicules par jour) et les cycles « arrêt-démarrage » fréquents.

**Respect des valeurs de référence**

Les concentrations mesurées sur les sites de fond sont toutes inférieures à la valeur limite de protection de la santé de 40 µg/m<sup>3</sup> avec une marge de dépassement tolérée de 16 µg/m<sup>3</sup> en 2002, et à l'objectif de qualité de 40 µg/m<sup>3</sup>, fixés par le décret du 15 février 2002.

Sur les neuf sites trafic étudiés, trois (Avenue de la Duchesse Anne (3P), Place de Bretagne (5P) et Avenue Janvier (7P)) pourraient présenter des concentrations annuelles supérieures à 40 µg/m<sup>3</sup> et un ne respecterait pas le dépassement autorisé en 2002 de 16 µg/m<sup>3</sup> au-dessus de la valeur limite (Rue de Saint-Malo 1P).

Pour information, les concentrations annuelles des stations trafic de Laënnec (8P) et des Halles centrales (6P) seraient respectivement de 39 et 38 µg/m<sup>3</sup> avec les tubes, inférieures aux valeurs de référence. A noter que les concentrations déterminées par les analyseurs sont du même ordre de grandeur, respectivement de 35 et 34 µg/m<sup>3</sup>.

### IV.3.3 Cartographie

La cartographie est un outil permettant de représenter graphiquement la répartition spatiale d'un polluant et de souligner les zones les plus touchées par la pollution.

Deux types de cartes ont été établis à partir des résultats de campagne :

- Une carte représentant les concentrations annuelles ponctuelles estimées sur chaque site à partir de Map Info.
- Une carte de modélisation de la répartition de la pollution sur l'agglomération rennaise par interpolation avec le Logiciel ISATIS, associée à une représentation graphique des incertitudes d'interpolation.

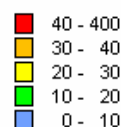
Bien que cette représentation de la pollution soit un outil de communication très attrayant, les nombreuses incertitudes existantes, de l'échantillonnage à la modélisation, doivent être prises en compte lors de sa lecture.

L'interpolation est une méthode qui, grâce à des calculs statistiques et des algorithmes, permet de modéliser la pollution sur l'ensemble d'une zone. L'interpolation entre deux points n'est appliquée que pour les sites urbains. Les sites trafics ne sont pas pris en compte en raison de l'influence directe des sources de pollution.

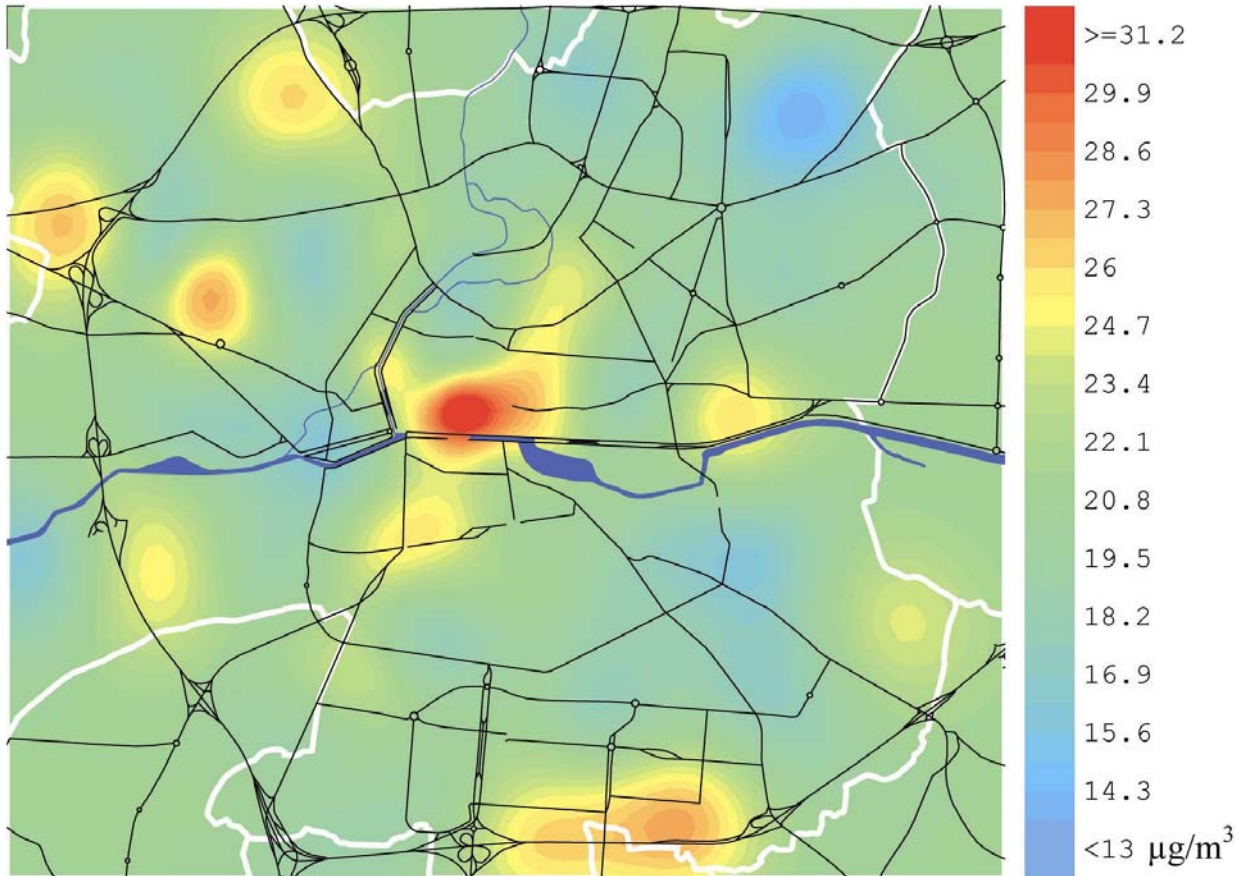
#### Concentrations annuelles



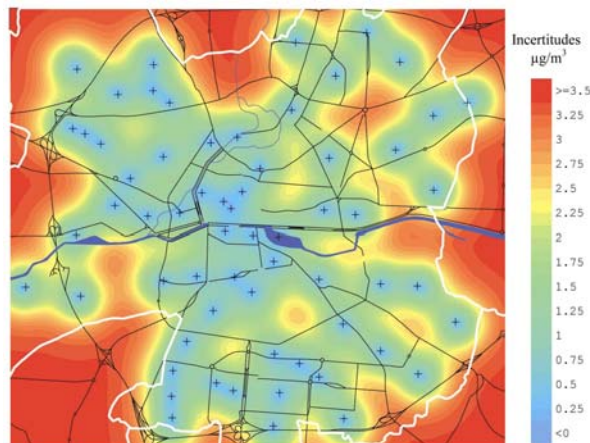
Concentration en  $\mu\text{g.m}^{-3}$



**Modélisation de la pollution par le dioxyde d'azote sur l'agglomération rennaise (ISATIS)**

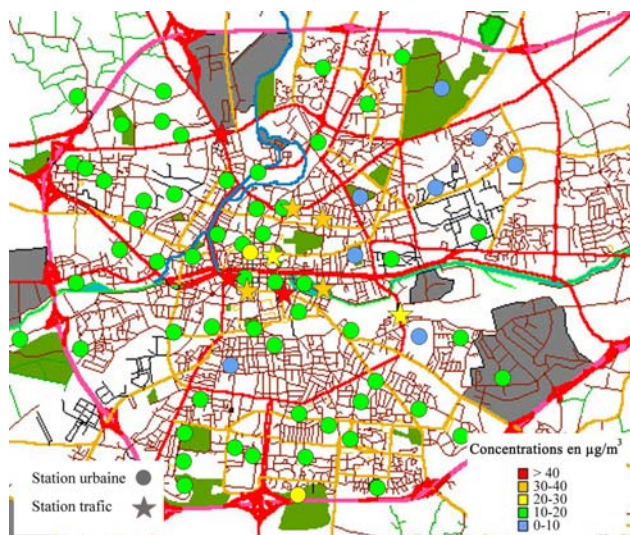


**Incertitudes**

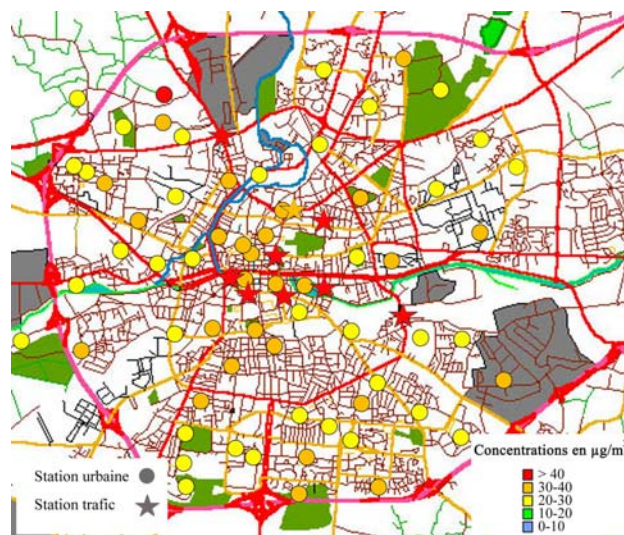


### IV.3.4 Comparaison été – hiver

*Campagne estivale 2002*



*Campagne hivernale 2002 - 2003*



#### Sites urbains

En été, les concentrations en dioxyde d'azote sont majoritairement comprises entre 10 et 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites urbains. Elles sont plus élevées en hiver, comprises généralement entre 20 et 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En effet, en période anticyclonique hivernale, les masses d'air sont stables, entraînant une accumulation du polluant émis en plus grande quantité par le fonctionnement des installations de chauffage et le trafic lui-même plus important.

Pendant la campagne hivernale, le site urbain de la Robiquette (63F) a présenté une concentration de 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  supérieure à l'objectif de qualité (fixé à 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 1 an). La Robiquette, est située au nord-ouest de Rennes, à environ 300 mètres de l'ancienne route nationale N137 fortement circulée.

#### Sites trafic

Les concentrations des sites trafic sont également plus élevées en hiver. La plupart des stations trafic étudiées présente des concentrations supérieures à l'objectif de qualité de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La concentration maximale est de 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  rue de Saint-Malo (1P) dans le centre-ville.

## CONCLUSION

Les tubes à diffusion passive permettent d'étudier la répartition spatiale du dioxyde d'azote sur une zone d'étude. Leur faible coût et leur simplicité d'utilisation autorisent les mesures sur un nombre important de sites.

Ces échantillonneurs ne fournissent pas d'information sur les concentrations réelles, mais permettent d'estimer une concentration moyenne sur une période d'échantillonnage.

Des campagnes de mesures ont été réalisées entre mai 2002 et février 2003, sur près de 80 sites de l'agglomération rennaise. Ces campagnes ont été réparties sur différentes saisons, afin d'estimer une concentration moyenne, en s'affranchissant des conditions météorologiques.

La qualité des résultats a été vérifiée par différents contrôles : utilisation de blancs témoins, multiplication des tubes sur un même site, comparaison tubes / analyseurs... Selon les résultats de ces contrôles, les campagnes suspectes ont été invalidées.

Les concentrations calculées à partir des échantillonneurs tendent à surestimer les concentrations des analyseurs pour les niveaux les plus élevés.

Ces concentrations sont donc à examiner avec prudence. Les résultats sont à considérer en tant qu'ordre de grandeur, plutôt qu'en valeurs exactes.

L'objectif de qualité, fixé à  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur une année, ne serait dépassé sur aucun des sites urbains étudiés. Cependant, en hiver, un de ces sites présenterait une concentration supérieure à cette valeur : la Robiquette, au nord-ouest de Rennes.

Si les concentrations des deux stations trafic d'Air Breizh, les Halles et Laënnec, s'avèrent inférieures à  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec les analyseurs sur l'année 2002, cette étude révèle que quatre sites trafic sur les neuf étudiés pourraient présenter des concentrations supérieures à cette valeur : Rue de Saint-Malo (1P), Avenue de la Duchesse Anne (3P), Place de Bretagne (5P) et Avenue Janvier (7P). L'éventualité d'un déplacement de la station des Halles vers un de ces sites est à l'étude.

## GLOSSAIRE

<b><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Microgrammes par mètre cube
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>COV</b>	Composé Organique Volatil
<b>DRIRE</b>	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
<b>NO</b>	Monoxyde d'azote
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'azote
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxydes d'azote : $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>Objectif de qualité</b>	Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée.
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>PM10</b>	Poussières de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micro mètres
<b>PPA</b>	Plan de protection de l'Atmosphère
<b>Seuil d'alerte</b>	Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement à partir duquel des mesures d'urgences doivent être prises.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre
<b>Valeurs limites</b>	Niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement.

# ANNEXES

## ANNEXE 1

### Sites de mesures

Code	Site	Description du site
1F	Rue de la Parcheminerie	
2F	CES Emile Zola	Cour intérieure
3F	Rue Dupont des loges	niveau ASSEDIC
4F	Square des Français libres	
5F	Colombier	Square des Martyrs
6F	Prison des femmes	Proche gymnase
7F	Caserne Foch	
8F	Stade de l'Arsenal	
10F	Stade Rennais	Au fond du square R Coty
11F	La Sagesse	Parc de la Guérinais
12F	La piverdière	La Prévalaye - parc publique
14F	Terrain de sport Rault	
15F	Square de Villeneuve	
17F	Piscine Bréquigny	Plaine de jeux
18F	Lycée Bréquigny	Parc à vélo
19F	Parc de Bréquigny	
20F	Promenade de Scandinavie	
21F	Crèche Alma	Parc
22F	CC Italie	Derrière
23F	Stade Salengro	Vestiaire
24F	Hopital sud	maison principale des parents
25F	Collège la Binquenais	Cour intérieure
26F	Bir Hakem	Eclairage sur terrain de boule
27F	Groupe scolaire Carle Bahon	Fond de cour
29F	Parc des Hautes Ourmes	
30F	Crèche la Poterie	
31F	Rue Ponnavoit	
33F	ZI du sud-est	Rue des Veyettes
34F	Rue Millet	
35F	Cimetière de l'est	Au fond à droite
36F	Rue Salomon	
37F	Parc Oberthur	
38F	CHS	Parc
39F	Beaulieu sud	Face au Hall principal
41F	IUFM	Cour intérieure
42F	Prairie Saint-Martin	
43F	Rue de Vincennes	Allée de Rimbaud
44F	Thabor	Entrée rue St-Melaine
45F	Palais St-Georges	Petit chemin piétonnier
46F	Rue Saint-Melaine	
47F	Mairie	Rue Lafayette
48F	Place Rallier du Baty	
49F	Square Fergent	
50F	GS Papu	Le long du canal
51F	DIOCESE	
52F	ENSAR	
54F	GS Kennedy	
55F	Rue Limousin	Proche aire de jeux
56F	Lande de Breil	Local d'accueil des "Jardins familiaux"
57F	Terrain de sport UIOM	
58F	CHR Pontchaillou	Bâtiment spécialisé Robert Desnos, allée F N° 88
59F	Dalle Kennedy	
61F	Rue Louis Joubain	
62F	Rue François Tanguy Prigent	Espace vert
63F	La Robiquette	Devant maison N° 28
65F	Av. des Monts d'Arrée	Fond du parc du Conseil Régional
66F	Eglise Saint-Laurent	Passage piétonnier
67F	CC Le Gast	Esplanade
69F	Collège Motte-Brûlon	Terrain de foot
71F	Les Glayeuilles	Terrain de foot CPB
72F	Les longchamps	Proximité étang
73F	Stade de Coutemanche	Entrée
74F	Beaulieu - Cité U	Bâtiment C
75F	Courtrel	
76F	Triangle	
78F	ENSP	
1P	Rue de Saint-Malo	Carrefour rue Saint-Malo/Bvd Charles Tillon
2P	Rue de Fougères	proximité n° 249
3P	Bd Duchesse Anne	
4P	Rue Gambetta	Arrêt de bus
5P	Place de Bretagne	
6P	Bd de la Liberté	Halles
7P	Avenue Janvier	Proximité France 3
8P	Bd Laënnec	Sur la canne de prélèvement
9P	Villebois Mareuil	Devant le pôle régional de formation de SNCF

## ANNEXE 2

### Résultats de mesures ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

sites	Concentrations estivales	Concentrations hivernales	Concentrations annuelles
F1	18,0	35,1	26,5
F2	12,2	36,3	24,3
F3	13,1	34,1	23,6
F4	13,0	28,4	20,7
F5	15,5	33,4	24,5
F6	11,7	31,5	21,6
F7	14,4	35,5	24,9
F8	12,7	26,7	19,7
F10	13,0	29,3	21,1
F11	16,5	33,4	25,0
F12	10,3	22,3	16,3
F14	12,2	34,3	23,3
F15	8,8	31,3	20,1
F17	12,7	28,2	20,4
F18	11,2	28,9	20,0
F19	12,1	26,3	19,2
F20	11,6	29,1	20,4
F21	11,9	29,0	20,5
F22	14,6	31,4	23,0
F23	21,5	30,8	26,1
F24	18,8	36,7	27,7
F25	9,7	26,6	18,2
F26	13,0	27,4	20,2
F27	10,3	26,6	18,5
F29	10,6	23,5	17,0
F30	11,6	26,6	19,1
F31	12,5	21,8	17,2
F32	15,3	33,2	24,3
F33	10,5	29,7	20,1
F35	9,1	22,9	16,0
F36	10,4	26,8	18,6
F37	8,2	29,0	18,6
F38	12,6	36,7	24,7
F39	10,9	31,1	21,0
F41	9,7	33,0	21,3
F42	10,4	25,4	17,9
F43	12,1	33,0	22,6
F44	11,4	33,2	22,3
F45	11,1	31,2	21,1
F46	16,0	31,6	23,8
F47	24,1	39,4	31,7
F48	16,8	34,5	25,7
F49	13,2	37,4	25,3
F50	11,1	25,4	18,2
F51	10,5	24,7	17,6
F52	9,8	27,5	18,7
F54	11,2	25,1	18,1
F55	14,3	27,8	21,1
F56	11,3	27,0	19,2
F57	10,3	29,9	20,1
F58	11,5	24,0	17,8
F59	16,5	32,7	24,6
F61	10,5	29,9	20,2
F62	13,6	30,2	21,9
F63	10,4	41,3	25,9
F64	10,5	27,5	19,0
F65	9,8	23,7	16,8
F66	11,4	30,3	20,8
F67	10,3	27,2	18,8
F69	12,1	29,0	20,6
F71	5,6	21,9	13,7
F72	8,8	29,2	19,0
F73	8,6	30,6	19,6
F74	9,0	27,5	18,2
F75	9,4	28,0	18,7
F76	16,3	24,6	20,4
F77	12,9	27,6	20,2
F78	13,8	33,0	23,4
P1	54,8	65,3	60,1
P2	30,0	39,8	34,9
P3	35,9	47,4	41,6
P4	28,3	48,5	38,4
P5	43,9	56,7	50,3
P6	35,8	41,0	38,4
P7	44,2	61,0	52,6
P8	36,1	41,2	38,7
P9	28,8	39,3	34,0

Etude réalisée avec la participation d'Antoine Gavel, stagiaire  
IUP de Chimie Appliquée d'Orléans

Pose des tubes  
Air Breizh et le service technique de la ville de Rennes que nous remercions

Cartographie par ISATIS  
Lig'Air

Contact  
Bénédicte GUIRIEC