



Association pour la mesure de la pollution atmosphérique de l'Auvergne



Siège social : Atmo Auvergne - 21 allée Évariste Galois - La Pardieu - 63170 AUBIÈRE
tél. : 04.73.34.76.34 fax : 04.73.34.33.56 mél : contact@atmoauvergne.asso.fr
web : <http://www.atmoauvergne.asso.fr>

Rapport d'étude

Train à crémaillère du Puy de Dôme

État initial de la qualité de l'air

Analyse des relevés de la station fixe du sommet du Puy de Dôme sur la période 2000-2007

et

campagne de mesure de dioxyde d'azote et BTEX du 6 mai au 3 juin 2008

Table des matières

Introduction - contexte de l'étude.....	3
Méthodologie générale.....	3
Contexte géographique	3
Premier volet - Analyse des relevés de la station fixe du sommet du Puy de Dôme.....	4
Description du dispositif de mesure.....	5
<i>Techniques de mesure</i>	5
<i>Implantation géographique</i>	5
Analyse des relevés de dioxyde d'azote	6
<i>Moyenne annuelle</i>	6
<i>Nombre de dépassements du seuil de 200 µg/m³ en moyenne horaire</i>	6
Analyse des relevés d'ozone.....	7
<i>Moyenne annuelle</i>	7
<i>Nombre de dépassements des seuils horaires et sur 8 heures</i>	7
<i>AOT40 de mai à juillet</i>	8
Conclusions.....	8
Second volet - Campagne de mesure de dioxyde d'azote et BTEX du 6 mai au 3 juin 2008.....	9
Méthodologie et configuration de la campagne de mesure.....	10
<i>Techniques de mesure</i>	10
<i>Implantation des sites de mesure</i>	10
Exploitation des résultats de mesure	12
Exploitation des résultats de mesure	12
<i>Contexte météorologique</i>	12
<i>Mesure de dioxyde d'azote de référence en stations fixes</i>	13
<i>Mesure de dioxyde d'azote par échantillonneurs passifs</i>	14
<i>Mesure de BTEX par échantillonneurs passifs</i>	16
<i>Situation par rapport aux critères réglementaires</i>	17
Conclusions.....	17
Annexe 1 : Les mécanismes de la pollution atmosphérique	19
Annexe 2 : Les critères réglementaires de la qualité de l'air	20

Introduction - contexte de l'étude

La présente étude a pour objet la caractérisation de l'état initial de la qualité de l'air dans la zone concernée par le projet d'implantation d'un train à crémaillère sur le site du Puy de Dôme, sur les communes d'Orcines et Ceysnat, dans le département du Puy-de-Dôme (63).

Réalisée à la demande de la société *SNC LAVALIN*, concessionnaire pour la conception, la construction et l'exploitation de l'infrastructure, cette évaluation s'inscrit dans le cadre de l'étude d'impact du projet, nécessaire à l'élaboration du dossier de déclaration d'utilité publique. L'objectif est d'effectuer un bilan de la situation actuelle, qui constituera la situation de référence pour estimer à l'avenir l'influence sur la qualité de l'air de la mise en service du train à crémaillère.

Méthodologie générale

La démarche proposée pour cette caractérisation de l'état initial de la qualité de l'air comporte deux volets :

- Les mesures automatiques d'ozone et d'oxydes d'azote réalisées par Atmo Auvergne sur la station fixe du sommet du Puy de Dôme, installée au niveau du bâtiment de l'Observatoire de Physique du Globe (OPGC), seront spécifiquement exploitées. L'objectif est de documenter les niveaux de pollutions photochimique et azotée et leur évolution temporelle, observés sur ce site de référence ces dernières années. Au-delà de la zone sommitale, ces données sont représentatives des conditions rencontrées sur l'ensemble du site du Puy de Dôme dans sa configuration actuelle, à l'exception des zones directement influencées par l'activité routière (abords des voies de circulation et parkings du péage et du sommet).
- En l'absence de mesure disponible dans la zone d'impact des émissions du trafic, des relevés complémentaires sont nécessaires pour obtenir une couverture spatiale exhaustive de la zone d'étude. L'évaluation de l'état initial de la qualité de l'air à proximité immédiate des voies de circulation est réalisée sur la base de mesures de dioxyde d'azote et de BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes), polluants traceurs de l'activité automobile. Pour cela, des échantillonneurs passifs ont été disposés dans l'environnement proche des parkings inférieur et supérieur et de la route d'accès au sommet, du 6 mai au 3 juin 2008.

Contexte géographique

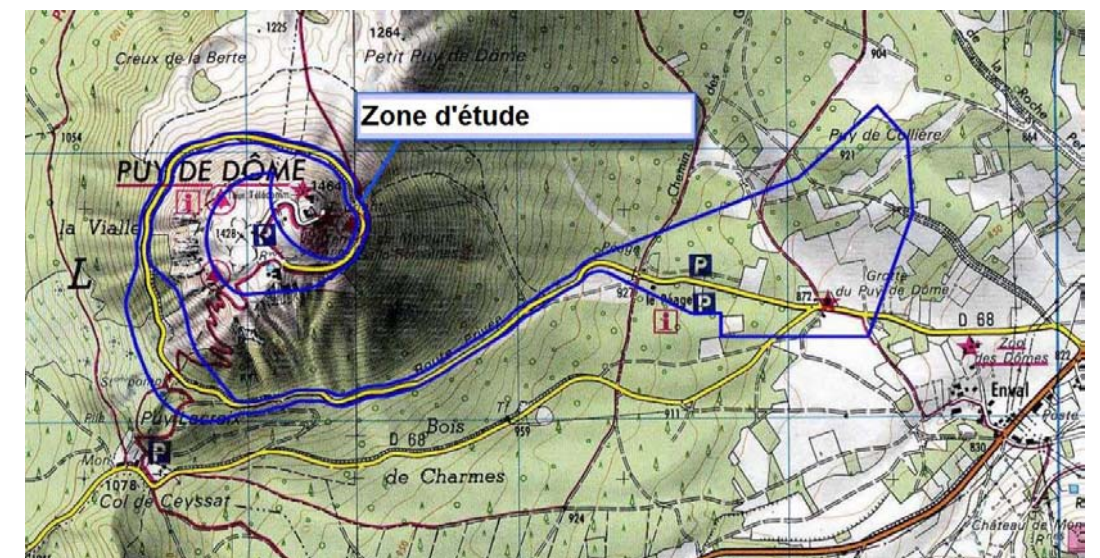
Le site du Puy de Dôme est localisé à une dizaine de kilomètres à l'Ouest du centre-ville clermontois. Il occupe une position centrale au sein de la chaîne des puys, où le sommet du Puy de Dôme culmine à 1465 m d'altitude.

La chaîne des puys, ensemble volcanique d'environ 80 édifices qui s'étend du Nord au Sud sur une quarantaine de kilomètres, constitue une importante barrière topographique qui marque la limite entre les plateaux des Combrailles à l'Ouest et la plaine de la Limagne à l'Est. Cet obstacle montagneux exerce une forte influence sur l'écoulement atmosphérique, qui se caractérise par une sensible atténuation des flux dominants d'Ouest au niveau de l'agglomération clermontoise et par un contraste marqué des précipitations, nettement plus faibles en versant Est en conséquence de l'effet de Föhn. A plus grande échelle, la chaîne des puys correspond également à la zone de transition climatologique entre les conditions météorologiques d'influence océaniques à l'Ouest et continentales à l'Est.

Le domaine d'étude s'insère majoritairement sur la face Est du Puy de Dôme, à une altitude voisine de 900 m au niveau des parkings inférieurs de la barrière de péage, emplacement projeté pour l'implantation de la gare de départ du train à crémaillère et le stationnement des usagers. Les voies de circulation du train coupent ensuite les faces Sud et Ouest, puis Nord à l'approche du sommet. L'emplacement de la future gare d'arrivée, au niveau de l'actuel parking sommital, est situé à plus de 1400 m d'altitude. Cette configuration particulière, à caractère montagneux, largement exposée aux flux atmosphériques de toutes directions, est particulièrement propice à la dispersion des polluants rejetés sur le site. De plus, par rapport à la zone de plus forte densité d'émission que constitue l'agglomération clermontoise, la situation du site au vent des flux dominants et son altitude sensiblement plus élevée le préservent du transport de pollution d'origine urbaine. Ainsi, la zone d'étude est globalement peu exposée à la pollution atmosphérique primaire.

En revanche, le caractère rural du site, conjugué à sa situation en altitude, conduit à une exposition importante à la pollution photochimique, caractérisée par des niveaux d'ozone élevés en période estivale.

La zone d'étude définie autour du projet d'infrastructure, comprenant la voie de circulation du train à crémaillère et les gares de départ et d'arrivée, s'étend sur les communes d'Orcines et de Ceysnat. Son emprise est un rectangle d'environ 3 km de longueur dans la direction Est-Ouest et 1,2 km de largeur dans la direction Nord-Sud :



Carte de situation de la zone d'étude

Premier volet

-

**Analyse des relevés de la station fixe
du sommet du Puy de Dôme**

Description du dispositif de mesure

Techniques de mesure

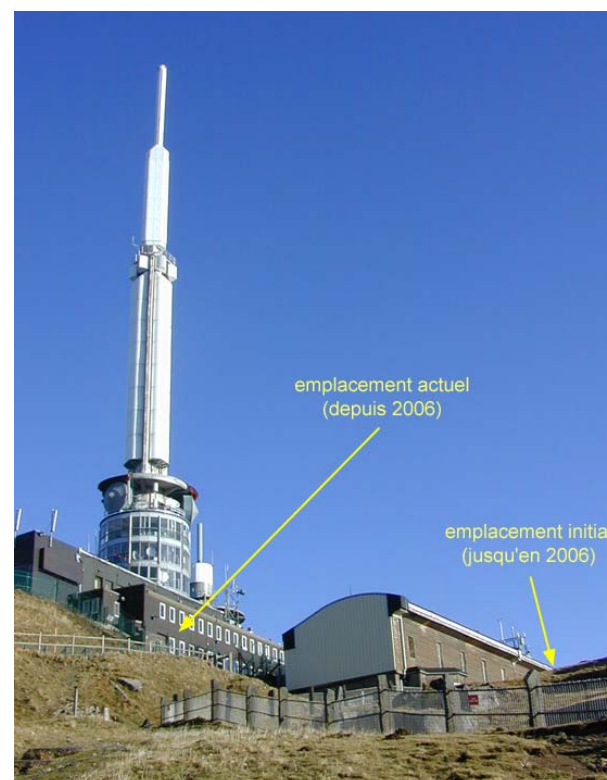
L'instrumentation mise en œuvre pour la mesure automatique des oxydes d'azote et de l'ozone dans les stations fixes du dispositif régional de surveillance déployé par Atmo Auvergne est conforme aux méthodes normalisées spécifiées dans la réglementation européenne :

- mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et en monoxyde d'azote par chimiluminescence (NF EN 14211),
- mesurage de la concentration en ozone par photométrie U.V. (NF EN 14625) ;

Implantation géographique

Station du sommet du Puy de Dôme

La station fixe de surveillance de la qualité de l'air du sommet du Puy de Dôme a été installée en 1994 dans le bâtiment de l'Observatoire de Physique du Globe (OPGC), situé en versant Sud-Est sous le sommet, entre le Temple de Mercure et l'antenne de télécommunication. Les analyseurs ont été déplacés de quelques dizaines de mètres en 2006 pour rejoindre les locaux de TDF.



Implantations de la station de surveillance de la qualité de l'air du sommet du Puy de Dôme

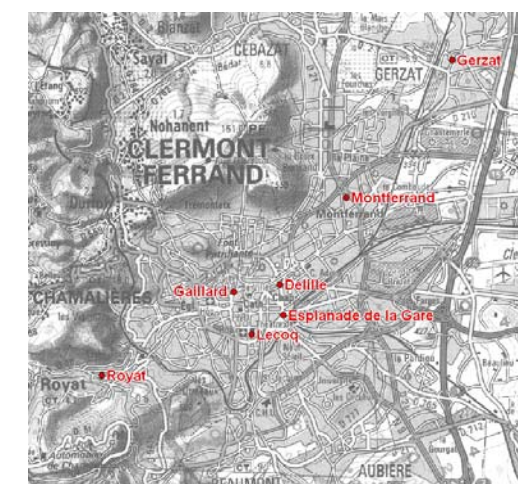
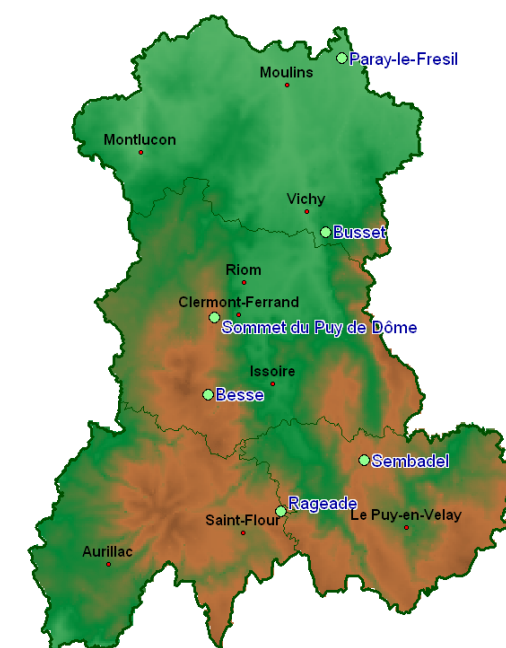
Sites de référence du réseau de stations fixes d'Atmo Auvergne

Les relevés du dispositif de stations fixes de surveillance de la qualité de l'air déployé par Atmo Auvergne sont exploités pour comparer les niveaux d'ozone et de dioxydes d'azote observés au sommet du Puy de Dôme avec ceux relevés dans l'agglomération clermontoise et en zones rurales en d'autres points du territoire auvergnat.

Les stations de référence exploitées dans la présente étude sont les suivantes :

- trois stations urbaines de l'agglomération clermontoise : Delille, Lecoq et Montferrand ;
- deux stations périurbaines de l'agglomération clermontoise : Royat et Gerzat ;
- deux stations de proximité automobile du centre urbain clermontois : Gaillard, jusqu'en 2005 puis Esplanade de la Gare à partir de 2005 ;
- cinq stations rurales régionales de mesure de l'ozone : Besse (63), Rageade (15) et Sembadel (43) en zone montagneuse, Paray-le-Fresil (03) et Busset (03) en zone de plaine.

La localisation géographique de ces stations est présentée sur les cartes suivantes :

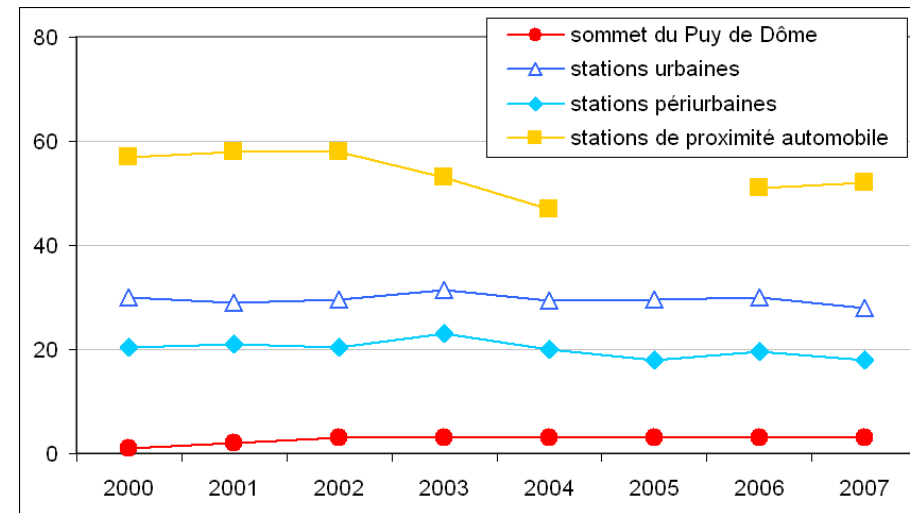


Cartographies d'implantation des stations de référence à gauche : stations rurales régionales à droite : stations de l'agglomération clermontoise

Analyse des relevés de dioxyde d'azote

Moyenne annuelle

L'évolution sur la période 2000-2007 des moyennes annuelles en dioxyde d'azote, relevées sur le site du Puy de Dôme et sur les sites de référence regroupés par typologie, est présentée sur la figure suivante. Les concentrations sont exprimées en microgrammes de dioxyde d'azote par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

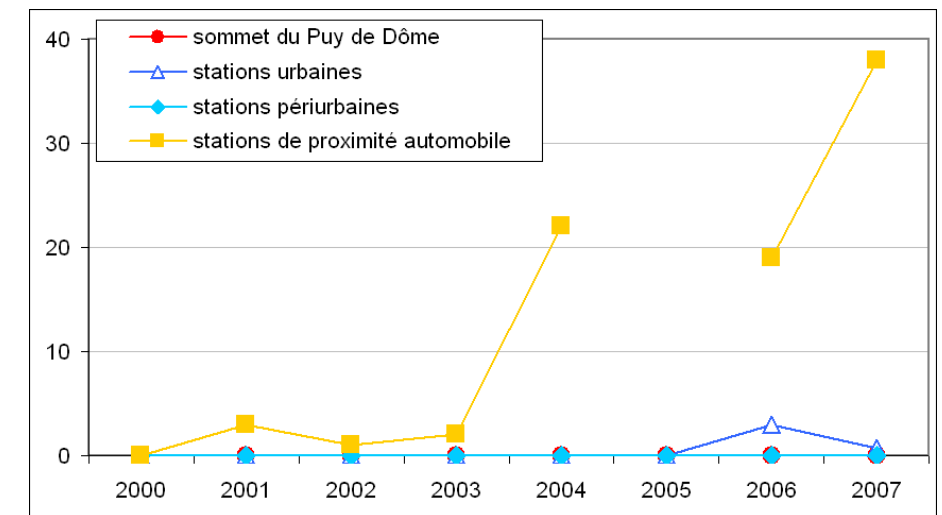


Évolution des moyennes annuelles en dioxyde d'azote

Cette représentation graphique illustre clairement la forte corrélation entre les teneurs en dioxyde d'azote et la densité d'émission à l'atmosphère. En effet, les sites les plus exposés correspondent géographiquement aux zones où se concentrent les activités émettrices, principalement le secteur des transports routiers pour ce polluant. Cette influence directe de la distance aux émetteurs se traduit à fine échelle par une surexposition des sites de proximité automobile, mais également à l'échelle de l'agglomération par des teneurs urbaines supérieures aux teneurs périurbaines. Dans cette logique, les niveaux ruraux sont très faibles et le site du Puy de Dôme apparaît comme particulièrement préservé de la pollution azotée. La concentration moyenne annuelle de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relevée sur ce site ces dernières années montre un très large respect de l'objectif de qualité de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Nombre de dépassements du seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire

L'évolution sur la période 2000-2007 du nombre de dépassements du seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire, sur le site du Puy de Dôme et sur les sites de référence, est présentée sur la figure suivante :



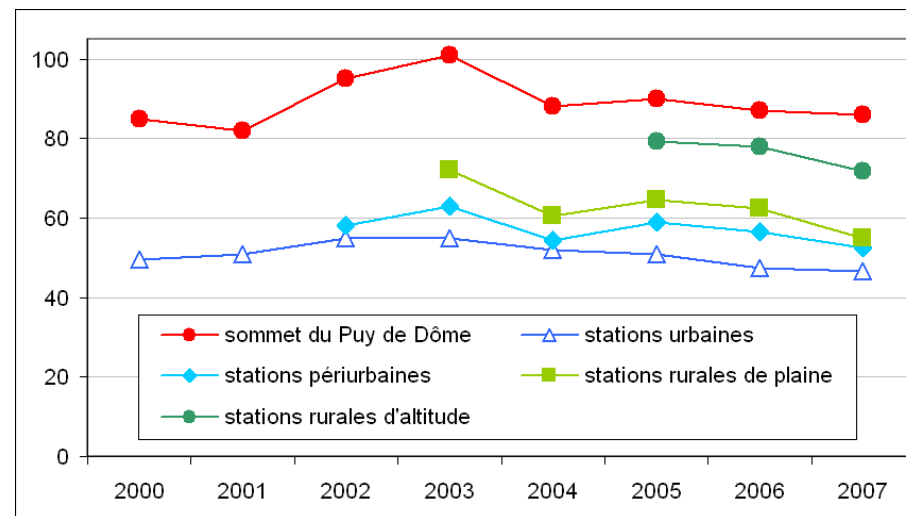
Évolution du nombre de dépassements du seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire pour le dioxyde d'azote

Seuls les sites de proximité automobile présentent un nombre élevé de dépassements du seuil de recommandation et d'information de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire, avec une tendance à la hausse ces dernières années. Plus singulièrement, une pointe de pollution azotée particulièrement persistante en février 2006 a contribué à plusieurs dépassements de ce seuil en milieu urbain. En revanche, depuis 2000, les concentrations relevées en milieu périurbain et au sommet du Puy de Dôme n'ont jamais franchi cette valeur. Dans ces conditions, la valeur limite à l'horizon 2010, autorisant 18 dépassements annuels, est très largement respectée.

Analyse des relevés d'ozone

Moyenne annuelle

L'évolution sur la période 2000-2007 des moyennes annuelles en ozone, relevées sur le site du Puy de Dôme et sur les sites de référence regroupés par typologie, est présentée sur la figure suivante. Les concentrations sont exprimées en microgrammes d'ozone par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



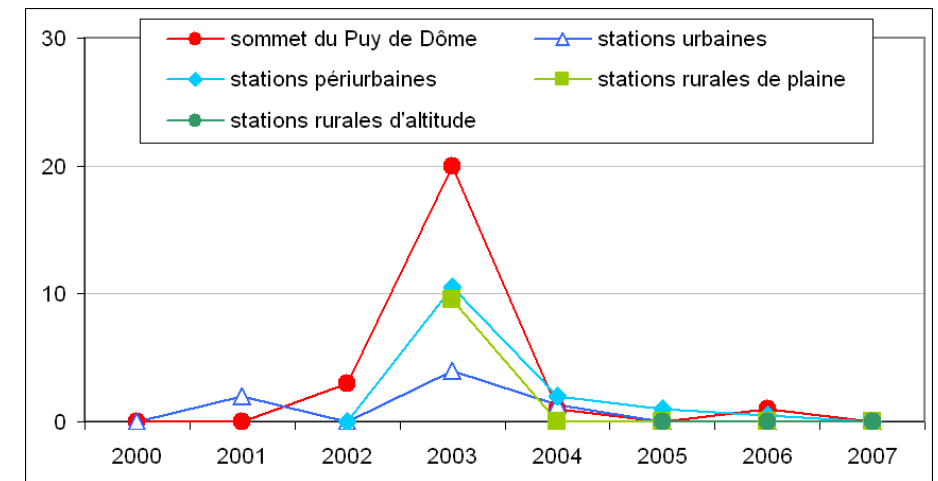
Évolution des moyennes annuelles en ozone

Sur la période considérée, aucune tendance nette ne se dégage de l'évolution des teneurs moyennes annuelles en ozone. Les niveaux sont relativement stables entre 2004 et 2007 et comparables à ceux observés en 2000 et 2001. Entre ces deux périodes, les années 2003, et 2002 dans une moindre mesure, correspondent aux valeurs maximales. Cette variabilité s'explique par la forte corrélation qui existe entre les teneurs en ozone et les conditions météorologiques, principalement d'ensoleillement sur la saison estivale, qui conditionnent l'activité photochimique favorable à la production de cette molécule. Ainsi, l'année 2003, avec son épisode caniculaire persistant du mois d'août, se distingue par une moyenne annuelle plus élevée sur l'ensemble des sites, en particulier celui du Puy de Dôme où la valeur de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée. Au contraire, les conditions météorologiques dégradées de l'été 2007, avec un ensoleillement déficitaire en Auvergne, conduisent aux plus faibles concentrations des 5 dernières années.

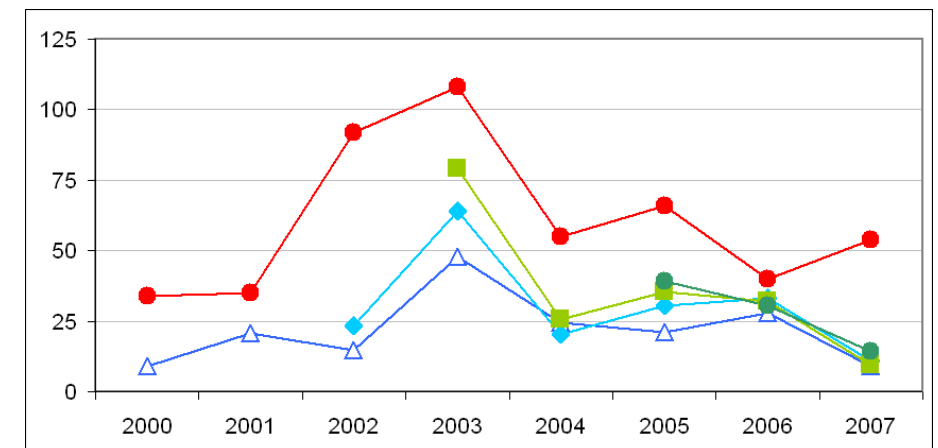
La répartition spatiale des teneurs moyennes en ozone résulte d'équilibres photochimiques complexes entre cette molécule et d'autres composés présents dans l'atmosphère, essentiellement les oxydes d'azote et divers composés organiques volatils. Les mécanismes réactionnels qui conditionnent ce système ont notamment pour conséquence, dans certaines conditions, une augmentation des concentrations en ozone lorsque les teneurs en oxydes d'azote diminuent. Cette opposition entre les deux espèces est illustrée sur la représentation graphique par l'augmentation de la concentration en ozone lorsque l'on s'éloigne du centre urbain clermontois, qui conduit à l'observation des plus fortes valeurs en milieu rural. De plus, on note sur le graphique une corrélation positive des niveaux d'ozone avec l'altitude, avec une exposition maximale de la station du sommet du Puy de Dôme.

Nombre de dépassements des seuils horaires et sur 8 heures

L'évolution sur la période 2000-2007 du nombre de jours de dépassement des seuils réglementaires de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire et $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures, sur le site du Puy de Dôme et sur les sites de référence, est présentée sur la figure suivante :



Évolution du nombre de jours de dépassement de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire pour l'ozone



Évolution du nombre de jours de dépassement de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures pour l'ozone

Les deux graphiques viennent confirmer les évolutions temporelles et les répartitions spatiales décrites précédemment lors de l'analyse des moyennes annuelles. On retrouve d'une part la forte influence de l'épisode caniculaire du mois d'août 2003, et d'autre part, dans une moindre mesure cependant, la surexposition des sites ruraux et d'altitude.

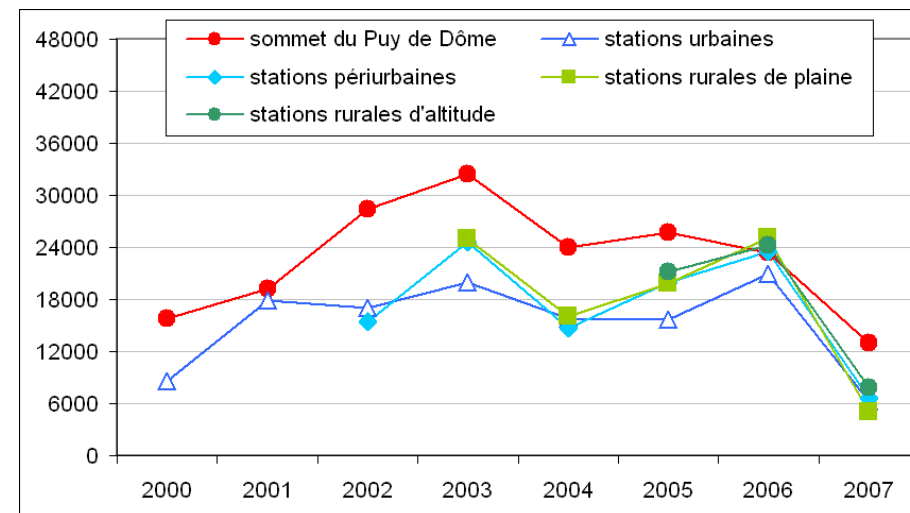
Le premier seuil, de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire, correspond au seuil de recommandation et d'information qui détermine l'activation des dispositifs préfectoraux d'information de la population en situation de pointe de pollution. La fréquence de dépassement de ce seuil, généralement limitée à une ou deux journées dans l'année, atteint des valeurs significativement plus importantes en 2003, jusqu'à 20 jours au sommet du Puy de Dôme. Concernant les seuils horaires plus élevés, soit les trois seuils d'alerte pour la mise en œuvre des mesures d'urgence (240 , 300 et $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire), aucun dépassement n'a jamais été relevés en Auvergne depuis la mise en place du réseau de surveillance.

Le seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures correspond à l'objectif de qualité pour la protection de la santé humaine. Le site présentant le plus grand nombre de dépassements est celui du sommet du Puy de Dôme, avec une cinquantaine de jours en moyenne sur la période 2004-2007 et un maximum de 108 jours en 2003. Sur les autres sites, où la fréquence de dépassement est sensiblement moindre, la valeur maximale atteinte correspond également à l'année 2003. Entre 2004 et 2006, le nombre de dépassements annuels fluctue entre 20 et 40 et baisse en 2007 de façon relativement homogène (9 à 14 jours selon la typologie). La valeur cible pour la protection de la santé humaine, critère fixé par une réglementation européenne non traduite à ce jour en Droit français, autorise 25 jours de dépassement. L'historique sur les dernières années montre que cette norme est systématiquement dépassée sur le site du sommet du Puy de Dôme, fréquemment sur le reste du territoire régional.

AOT40 de mai à juillet

L'objectif de qualité pour la protection de la végétation est défini sur la base d'un indicateur appelé AOT40 (Accumulated Over Threshold of 40 ppb : niveau cumulé d'exposition au delà de 40 parties par milliard). Cet indicateur, exprimé en $\mu\text{g}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$, est égal à la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures. Le seuil fixé est de $6000 \mu\text{g}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'AOT40 calculé à partir des concentrations enregistrées entre le 1^{er} mai et le 31 juillet.

L'évolution temporelle sur la période 2000-2007 des AOT40 calculés sur le site du Puy de Dôme et sur les sites de référence est présentée sur la figure suivante :



Évolution des AOT40 calculés sur la période mai-juillet

L'évolution des AOT40 sur la période 2000-2007, en cohérence avec les autres paramètres statistiques précédemment présentés, permet de mettre en évidence l'influence des conditions météorologiques particulières de l'été 2003 et une exposition plus importante en milieu rural. Quelques exceptions à ces tendances générales sont cependant à signaler :

- Les valeurs calculées en 2001 et 2006 sont relativement indépendantes de la typologie d'implantation des sites ;
- Pour toutes les stations exceptée celle du sommet du Puy de Dôme, Les valeurs obtenues respectivement en 2003 et 2006 sont comparables.

L'objectif de qualité pour la protection de la végétation, $6000 \mu\text{g}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$, est systématiquement dépassé sur tous les sites sur la période 2000-2006, et dans une très large mesure puisque des valeurs 3 à 4 fois supérieures peuvent être observées. En 2007, année marquée par une baisse significative et généralisée de l'indicateur AOT40, seul le site du Puy de Dôme s'inscrit en net dépassement.

Conclusions

Les mesures automatiques d'ozone et d'oxydes d'azote réalisées par Atmo Auvergne sur la station fixe du sommet du Puy de Dôme permettent de caractériser les niveaux de pollutions photochimique et azotée observés sur ce site ces dernières années. Au-delà de la zone sommitale où cette station est implantée, ces données sont représentatives des conditions rencontrées sur l'ensemble du site du Puy de Dôme dans sa configuration actuelle, à l'exception des zones directement influencées par l'activité routière (abords des voies de circulation et parkings du péage et du sommet).

L'exploitation de l'historique des mesures réalisées sur la période 2000-2007 montre un niveau d'exposition du site très contrasté, selon que l'on considère la pollution au dioxyde d'azote ou à l'ozone.

En effet, le caractère rural très marqué de la zone, où la densité d'émissions à l'atmosphère est minime, conduit à des niveaux particulièrement faibles de pollution azotée, assurant un très large respect des divers critères réglementaires relatifs aux oxydes d'azote. Ces résultats pourraient être extrapolés aux autres polluants primaires gazeux réglementés (monoxyde de carbone, dioxyde de soufre et benzène) et, dans une moindre mesure, aux particules en suspension, qui dans certaines conditions proviennent en partie d'un phénomène de transport à grande échelle.

En revanche, l'environnement rural du site, qui de plus se conjugue à une altitude élevée, s'avère très nettement défavorable du point de vue de la pollution estivale à l'ozone. Ce polluant secondaire est en effet issu de processus chimiques qui conduisent typiquement à l'observation de teneurs maximales à l'extérieur des zones d'émissions des précurseurs. Dans ces conditions, la station fixe de mesure du sommet du Puy de Dôme est la plus exposée d'Auvergne à la pollution en ozone, et enregistre des dépassements chroniques de plusieurs seuils réglementaires. Plus globalement, compte-tenu de la faible variabilité spatiale de l'ozone qui permet de considérer que cette station est représentative de l'ensemble du site, on peut estimer que cette exposition importante concerne l'ensemble de la zone d'étude.

Second volet

-

**Campagne de mesure
de dioxyde d'azote et BTEX
du 6 mai au 3 juin 2008**

Méthodologie et configuration de la campagne de mesure

Techniques de mesure

Parmi les solutions disponibles pour la mesure du dioxyde d'azote et des BTEX dans l'air ambiant, les échantillonneurs passifs sont bien adaptés et largement utilisés dans les études ponctuelles visant à quantifier l'exposition moyenne sur un nombre important de sites d'échantillonnage. Pour sa facilité de mise en œuvre et son faible coût, qui en constituent les principaux atouts, cette technique de mesure a été retenue dans la présente étude.

De meilleure résolution temporelle, les analyseurs automatiques fournissent en temps réel des données de concentrations au pas de temps horaire. Cette finesse de l'échantillonnage temporel, qui permet de suivre les fluctuations des teneurs en polluants au cours de la journée, est conforme à la définition des seuils réglementaires, dont le calcul est souvent basé sur les concentrations moyennes horaires. Ce type d'analyseur est utilisé dans les stations fixes du dispositif pérenne de surveillance d'Atmo Auvergne.

Échantillonneurs passifs de dioxyde d'azote

La mesure du dioxyde d'azote par échantillonnage passif est basée sur le piégeage de cette molécule sur un absorbant, la triéthanolamine. L'échantillonneur utilisé consiste en un tube de polypropylène d'environ 7,5 cm de long et 10 mm de diamètre, dénommé "tube de Palmes", où l'air à analyser circule par diffusion passive. La quantité de dioxyde d'azote absorbée est proportionnelle à sa concentration moyenne dans l'air ambiant durant la période d'exposition. Cette quantité est déterminée par spectrométrie à 542 nm. L'imprégnation des échantillonneurs et l'analyse sont réalisées au laboratoire d'Atmo Poitou-Charentes.

Échantillonneurs passifs de BTEX

Les échantillonneurs passifs de BTEX, de marque Perkin, se présentent sous la forme d'un tube en acier inoxydable qui contient une cartouche adsorbante au Carbopack B. Ces échantillonneurs, après conditionnement en laboratoire, sont fermés hermétiquement par deux bouchons étanches. Lors de la phase d'exposition, l'échantillonneur est placé verticalement dans une enceinte de protection, et le bouchon étanche supérieur est remplacé par un bouchon diffuseur. En phase d'analyse, après désorption, les BTEX piégés sont séparés par chromatographie en phase gazeuse puis qualifiés et quantifiés par spectrométrie de masse. Les échantillonneurs sont conditionnés et analysés au laboratoire d'Atmo Picardie selon des procédures conformes aux normes ISO 16017-2 et NF EN 14662-4.

Analyseurs automatiques

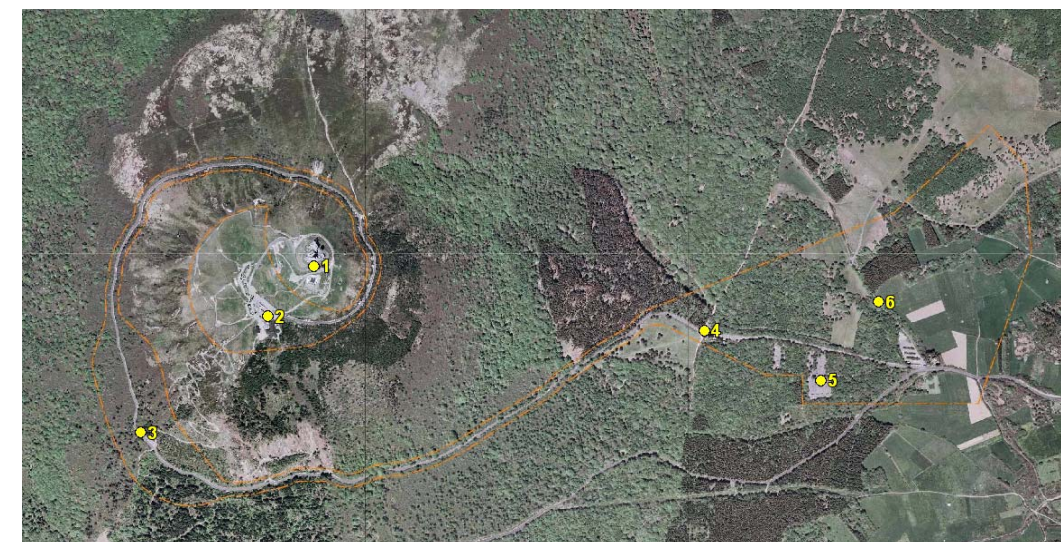
L'instrumentation mise en œuvre pour la mesure automatique des oxydes d'azote dans les stations fixes de référence est conforme à la méthode normalisée spécifiée dans la réglementation européenne (NF EN 14211 : mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et en monoxyde d'azote par chimiluminescence).

Pour le benzène, en l'absence de méthode normalisée permettant d'obtenir une information en temps réel, un analyseur automatique de COV (Composés Organiques Volatils) par chromatographie et détection PID (détecteur à photo-ionisation) est utilisé.

Implantation des sites de mesure

Sites de mesure par échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs de dioxyde d'azote et BTEX ont été répartis spatialement sur 6 sites de mesure. Cet échantillonnage spatial est présenté sur la carte suivante :



Carte d'implantation des sites d'échantillonneurs passifs

Les caractéristiques de chacun des 6 sites de mesure (numéro et nom du site, localisation, nombre d'échantillonneurs passifs), sont présentées dans le tableau suivant :

N°	nom	localisation	nombre d'éch.	
			NO ₂	BTEX
1	Sommet - station fixe	sur le mat au niveau des entrées-échantillons des analyseurs automatiques	1	1
2	Sommet - parking	sur un poteau d'éclairage en limite du parking, coté restaurant	1	1
3	Route d'accès au sommet	sur le panneau "interdiction aux piétons et cyclistes" au croisement du chemin des Muletiers à droite de la chaussée dans le sens montant	1	1
4	Péage - barrière	sur le support d'affichage des tarifs à droite de la chaussée dans le sens montant	1	1
5	Péage - parking principal	sur un arbre au milieu de l'allée centrale, au niveau du passage piéton	2	2
6	Taillerie (parkings futurs)	sur un arbre en lisière de forêt, 15 m à droite du PR	1	1

Caractéristiques d'implantation des sites d'échantillonneurs passifs

Pour l'ensemble de la campagne de mesure, les temps d'exposition des échantillonneurs passifs correspondent à quatre périodes consécutives d'une semaine, entre le 6 mai et le 3 juin 2008, les poses et déposes ayant lieu le mardi à la mi-journée.

Afin de respecter la procédure d'assurance qualité, pour chaque période de mesure, deux échantillonneurs passifs, respectivement de dioxyde d'azote et BTEX, sont transportés lors de la pose et du ramassage mais ne sont pas exposés ("blanc terrain"). Cette démarche est destinée au contrôle de l'absence de contamination des échantillonneurs lors des différentes étapes du mode opératoire, du conditionnement initial à l'analyse. Par ailleurs, sur le site 5, deux échantillonneurs passifs supplémentaires, de dioxyde d'azote et BTEX, sont installés en doublons afin de contrôler la répétabilité des mesures. Le site 1, qui correspond à l'implantation de la station fixe du sommet du Puy de Dôme, permet en outre la comparaison des deux techniques de mesure, analyseur automatique et échantillonneur passif de dioxyde d'azote.

Sites de référence du réseau de stations fixes d'Atmo Auvergne

Les enregistrements obtenus du 6 mai au 3 juin 2008 sur les stations fixes du réseau régional permettent de situer les niveaux relevés sur la durée limitée de la campagne de mesure par rapport à ceux habituellement observés. L'objectif est de quantifier, à partir de ces données de référence, l'influence des paramètres météorologiques spécifiquement rencontrés durant la période de mesure, afin de généraliser les résultats de la campagne ponctuelle.

Les stations de référence exploitées dans la présente étude sont les suivantes :

- trois stations urbaines de l'agglomération clermontoise : Delille, Lecoq et Montferrand ;
- deux stations périurbaines de l'agglomération clermontoise : Royat et Gerzat ;
- la station du sommet du Puy de Dôme ;
- pour le benzène, la station de proximité automobile du centre-ville de Clermont-Ferrand (Esplanade de la Gare).

Exploitation des résultats de mesure

Contexte météorologique

Les conditions météorologiques rencontrées lors de la campagne de mesure et les valeurs climatiques de référence (1971-2000), issues des observations réalisées par *Météo-France* sur la station de Clermont-Ferrand (indicatif 63113001, latitude de 45°47'12"N, longitude de 03°09'00"E, altitude de 331 m) sont reportées dans le tableau suivant. La mention "nd" correspond aux valeurs non disponibles.

série 1 06/05 - 13/05 2008	série 2 13/05 - 20/05 2008	série 3 20/05 - 27/05 2008	série 4 27/05 - 03/06 2008	normales climatiques de mai
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

Température					
température maximale (moyenne en °C)	23,9	20,6	20,6	20,6	19,2
température moyenne (moyenne en °C)	16,4	14,8	15,0	16,2	13,7
température minimale (moyenne en °C)	9,1	10,3	10,2	13,0	8,2
nombre de jours avec :					
température maximale >= 30°C	0	0	0	0	0,3
température maximale >= 25°C	3	0	0	0	4,0
température maximale <= 0°C	0	0	0	0	0,0
température minimale <= 0°C	0	0	0	0	0,5
température minimale <= -5°C	0	0	0	0	0,0
température minimale <= -10°C	0	0	0	0	0,0
Précipitations					
hauteur cumulée (mm)	2,8	22,0	68,2	51,0	85,3
nombre de jours avec :					
hauteur quotidienne >= 1 mm	2	7	6	5	11,5
hauteur quotidienne >= 5 mm	0	2	4	4	5,3
hauteur quotidienne >= 10 mm	0	0	4	2	2,6
Insolation					
durée d'insolation cumulée (heures)	63,7	43,8	32,6	16,4	203,5
nombre de jours avec :					
fraction d'insolation = 0 %	0	0	0	0	2,1
fraction d'insolation <= 20 %	2	2	4	5	8,5
fraction d'insolation >= 80 %	2	0	0	0	5,7
Vent					
vitesse du vent (moyenne en m/s)	2,9	2,6	2,4	2,3	2,7
nombre de jours avec :					
rafales >= 16 m/s	1	0	0	0	2,9
rafales >= 28 m/s	0	0	0	0	0,0
nombre de jours avec :					
vitesse moyenne <= 1 m/s	0	0	1	0	nd
vitesse moyenne <= 2 m/s	2	3	4	4	nd
vitesse moyenne >= 3 m/s	4	3	2	2	nd

Paramètres météorologiques observés durant la campagne de mesure et normales climatiques

Première série : du 6 au 13 mai 2008

Durant la première série de mesure, les conditions météorologiques sont globalement clémentes pour la saison. A la faveur d'un soleil souvent généreux, les températures maximales dépassent souvent de plus de 5 °C la valeur normale de mai, atteignant 26 °C le 8. Les précipitations se limitent à quelques gouttes les 12 et 13, conduisant à un cumul inférieur à 3 mm, nettement déficitaire. Le vent, majoritairement orienté au Sud, est parfois soutenu (les 8, 9 et 11), avec des rafales dépassant les 40 km/h à Clermont-Ferrand, et voisines de 90 km/h, le 9, au sommet du Puy de Dôme.

Deuxième série : du 13 au 20 mai 2008

Suite à la journée du 13 encore bien ensoleillée, les conditions météorologiques se dégradent durant la seconde série de mesure, nettement plus perturbées. Le 15, la baisse du thermomètre est sensible et les températures se stabilisent autour du niveau de saison. La couverture nuageuse, importante le 15 et le 16, laisse percer quotidiennement quelques éclaircies du 17 au 20. Sur l'ensemble de la période, il pleut tous les jours à l'exception du 19, mais les hauteurs d'eau restent limitées et le cumul hebdomadaire de précipitations demeure conforme à sa valeur normale saisonnière.

Troisième série : du 20 au 27 mai 2008

Du 20 au 23, le soleil alterne avec les nuages et les températures remontent faiblement. Le 23, les maximales atteignent 23 °C, et les minimales, inférieures à 7 °C les 21 et 22, reviennent à un niveau de saison (8,5 °C le 23). La chute du baromètre le 24 marque l'arrivée d'une situation nettement plus perturbée qui s'installe jusqu'en fin de période de mesure. Du 24 au 27, les nuages dominant sans concession et donnent de fortes précipitations. Les cumuls quotidiennement fluctuent entre 11 et 21 mm, conduisant à un total de plus de 60 mm en 4 jours, ce qui correspond à la valeur habituellement atteinte en 3 semaines à cette période de l'année. A l'exception du 25, où le thermomètre peine à atteindre 16 °C, les températures restent douces et le vent, orienté au Sud, est très fort au sommet du Puy de Dôme, où des rafales de 140 km/h sont relevées le 27.

Quatrième série : du 27 mai au 3 juin 2008

Si le baromètre remonte à partir du 27, le temps reste pluvieux au cours de la quatrième série de mesure et les nuages dominant très nettement, laissant rarement la place à quelques rayons de soleil les 28 et 29 mai et 2 juin. L'ensoleillement cumulé sur cette semaine est inférieur au tiers de sa valeur habituelle en cette saison. Le cumul de précipitations, atteignant 51 mm, est à nouveau largement supérieur à sa valeur normale, et certaines valeurs quotidiennes sont encore élevées (près de 10 mm les 28 et 31 mai, 19 mm le 1^{er} juin). Le vent, de direction changeante, est plus faible, notamment à Clermont-Ferrand où sa vitesse moyenne journalière reste inférieure à 2 m/s du 29 mai au 1^{er} juin. Au sommet du Puy de Dôme cependant, les rafales dépassent encore fréquemment les 60 km/h, avec une accalmie passagère les trois derniers jours de mai. Au cours de cette dernière série de mesure, les températures demeurent stationnaires au-dessus des normales saisonnières, avec des valeurs minimales plus particulièrement élevées (près de 15 °C le 30 mai).

Bilan global et influence sur la qualité de l'air

La période de mesure se caractérise par des conditions météorologiques perturbées et douces pour la saison. Ce mois de mai 2008 est marqué par des précipitations excédentaires d'origine orageuse, majoritairement concentrées sur la troisième décennie, une insolation déficitaire, et des températures moyennes plus élevées que la normale de 2 à 3 °C. Ces conditions sont largement favorables à une bonne dispersion des polluants atmosphériques, conduisant notamment à de faibles concentrations en pollution primaire.

Mesure de dioxyde d'azote de référence en stations fixes

En s'appuyant sur l'historique des données de concentration, les relevés des stations fixes permettent de situer les niveaux de pollution durant la campagne de mesure par rapport aux teneurs habituellement observées. Les concentrations en dioxyde d'azote sur les stations de référence retenues, exprimées en microgrammes de dioxyde d'azote par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), sont présentées dans le tableau suivant. Les valeurs moyennes calculées durant les quatre périodes d'exposition des échantillonneurs passifs, en regroupant les sites par typologie, sont comparées aux valeurs obtenues sur la période 2003-2007.

Stations	Delille Lecoq Montferrand	Royat Gerzat	sommet du Puy de Dôme
Typologie d'implantation	urbaine	périurbaine	rurale
série 1 6 - 13 mai 2008	19	14	2
série 2 13 - 20 mai 2008	18	13	1
série 3 20 - 27 mai 2008	22	16	1
série 4 27 mai - 3 juin 2008	20	14	1
moyenne 6 mai - 3 juin 2008	20	14	1
moyenne mensuelle en mai (2003 - 2007)	20	12	3
moyenne annuelle (2003 - 2007)	30	20	3

Concentrations en dioxyde d'azote observées sur les stations fixes de référence

D'une façon générale, l'évolution de la pollution au dioxyde d'azote au cours d'une année se caractérise par des niveaux maxima en période hivernale. Ce résultat traduit conjointement l'évolution saisonnière :

- des émissions azotées, notamment celles liées au chauffage dans les secteurs résidentiel et tertiaire,
- des conditions de dispersion des polluants dans l'atmosphère, globalement moins favorables en situation anticyclonique hivernale.

Ainsi, le mois de mai présente généralement des niveaux inférieurs à la moyenne annuelle, comme l'illustre le tableau sur la période 2003-2007.

La répartition spatiale à grande échelle des champs de concentration en dioxyde d'azote est majoritairement conditionnée par la densité d'émission d'oxydes d'azote à l'atmosphère. Ainsi, les sites les plus exposés correspondent géographiquement aux zones où se concentrent les activités émettrices, principalement celles du secteur routier pour ce polluant. En conséquence, on relève typiquement une décroissance des concentrations lorsque l'on s'éloigne des centres urbains. Cette répartition se traduit, sur les valeurs présentées dans le tableau, par des teneurs urbaines supérieures aux teneurs périurbaines (d'environ 40 à 60 %) et par des niveaux particulièrement faibles en milieu rural.

Les concentrations mesurées sur les stations fixes durant les quatre séries de mesure sont relativement stables, en liaison avec la persistance de conditions météorologiques dispersives. En moyenne sur l'ensemble de la période de mesure, les niveaux sont conformes aux valeurs habituellement relevées en mai (sur la période 2003-2007), avec un écart maximal de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en

milieu périurbain et au sommet du Puy de Dôme. Ce très faible écart permet de considérer que la campagne de mesure est bien représentative des situations habituellement observées à cette période de l'année. Le printemps est une saison généralement propice à une bonne dispersion des polluants atmosphériques. Les teneurs mensuelles en dioxyde d'azote sont généralement parmi les plus faibles de l'année et la probabilité de survenu d'une pointe de pollution azoté est minimale.

Mesure de dioxyde d'azote par échantillonneurs passifs

Validation des mesures de dioxyde d'azote

Analyse des valeurs de "blancs terrains"

Les résultats d'analyse des quatre échantillonneurs passifs utilisés comme "blancs terrains", transportés lors de la pose et du ramassage mais non exposés ("blanc terrain"), respectivement pour les quatre séries de mesure, montrent des quantités de dioxyde d'azote inférieures à 11 ng (nanogramme). Ces faibles valeurs traduisent l'absence de contamination particulière pour l'ensemble du mode opératoire.

Analyse des mesures en doublon

Les échantillonneurs passifs installés en doublon sur le site 5 permettent de contrôler la répétabilité des mesures. On définit pour cela l'écart relatif ER entre deux mesures conjointes C_A et C_B comme la valeur absolue de l'écart entre l'une des mesures et la moyenne des deux, rapportée à cette moyenne :

$$ER = \frac{|C_A - (C_A + C_B)/2|}{(C_A + C_B)/2}$$

L'évaluation des écarts relatifs ER pour chaque série de mesure est présentée dans le tableau suivant. Les concentrations sont exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	série 1 06/05 - 13/05 2008	série 2 13/05 - 20/05 2008	série 3 20/05 - 27/05 2008	série 4 27/05 - 03/06 2008
concentration échantillonneur passif 5A	6	4	8	2
concentration échantillonneur passif 5B	5	4	4	2
ER	9 %	0 %	33 %	0 %

Analyse des mesures de dioxyde d'azote sur le site 5, équipé d'un doublon d'échantillonneurs passifs

Pour les séries 1, 2 et 4, les écarts relatifs obtenus sont faibles et cohérents avec une incertitude de mesure voisine de 20 % admise pour cette technique, confirmant ainsi une répétabilité satisfaisante. La plus forte valeur, de 33 %, obtenues lors de la troisième série, correspond à un écart absolu de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les deux mesures conjointes. Cette valeur est également conforme avec l'incertitude absolue associée à une mesure de dioxyde d'azote par échantillonneur passif.

Comparaison avec l'analyseur automatique

L'équipement du site 1 conjointement en échantillonneur passif et en analyseur automatique permet de comparer les deux techniques de mesure du dioxyde d'azote. Cette comparaison, également effectuée à partir des écarts relatifs, est présentée dans le tableau suivant, où les concentrations sont exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	série 1 06/05 - 13/05 2008	série 2 13/05 - 20/05 2008	série 3 20/05 - 27/05 2008	série 4 27/05 - 03/06 2008
concentration échantillonneur passif 1	4	4	3	2
concentration analyseur automatique	2	1	1	1
ER	33 %	60 %	50 %	33 %

Comparaison échantillonneur passif / analyseur automatique pour les mesures de dioxyde d'azote sur le site 1

Les valeurs élevées des écarts relatifs obtenus, entre 33 et 60 %, s'expliquent par les très faibles niveaux observés sur le site pour chaque série de mesure. Dans ces conditions, il est important de souligner que les écarts absolus entre les échantillonneurs passifs et la référence constituée par l'analyseur automatique demeurent inférieures à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit une valeur conforme à la précision attendue.

Résultats des relevés de dioxyde d'azote

Les résultats détaillés des concentrations en dioxyde d'azote, exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), pour l'ensemble des sites et chaque série de mesure, sont fournis dans le tableau suivant. Les valeurs mesurées durant les mêmes périodes sur les analyseurs automatiques des stations fixes de référence y sont également reportées.

Site	série 1 06/05 - 13/05	série 2 13/05 - 20/05	série 3 20/05 - 27/05	série 4 27/05 - 03/06	moyenne 06/05 - 03/06
1	4	4	3	2	3
2	6	4	1	4	4
3	8	7	4	3	6
4	39	45	19	16	30
5	6	4	6	2	4
6	3	5	3	4	4
moyenne	11	12	6	5	8
sites urbains clermontois	19	18	22	20	20
sites périurbains	14	13	16	14	14
sommet du Puy de Dôme	2	1	1	1	1

***Concentrations en dioxyde d'azote mesurées
avec les échantillonneurs à diffusion passive
Comparaison avec les analyseurs en stations fixes***

Les relevés de dioxyde d'azote du site 4 (barrière de péage) se distinguent nettement des autres observations, avec d'une part une exposition significativement plus élevée, d'autre part une décroissance notable entre les deux premières séries et les deux suivantes. La surexposition du site s'explique par l'influence directe des émissions des véhicules à proximité immédiate des capteurs, accrues par une forte demande en puissance en phase de démarrage en côte. On observe dans ces conditions des valeurs comparables (séries 3 et 4) à nettement supérieures (séries 1 et 2) aux niveaux urbains clermontois. L'évolution à la baisse des concentrations entre les deux premières séries de mesure et les deux suivantes, considérant les conditions stationnaires de capacité dispersive de l'atmosphère, pourrait être liée à une moindre fréquentation du site au cours des troisième et quatrième séries de mesure.

En dehors de cette zone d'influence de l'activité générée par la barrière de péage, les concentrations en dioxyde d'azote mesurées avec les échantillonneurs passifs sont faibles à très faibles sur l'ensemble des sites de mesure et pour chacune des périodes d'exposition. La répartition spatiale des concentrations est alors relativement homogène sur la zone d'étude, aucune différence significative n'étant mise en évidence entre les sites distants des voies de circulation (site 1 du sommet du Puy de Dôme et site 6 de la taillerie) et les localisations a priori plus exposées (parkings inférieur et du sommet et route d'accès au sommet). Ce résultat s'explique par une activité automobile peu conséquente et finalement génératrice d'une faible quantité d'émissions azotées. Les teneurs observées se situent sensiblement en dessous des niveaux périurbains clermontois. En moyenne sur la campagne de mesure, exception faite du site 4, la valeur maximale de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, relevée sur le site 3, représente ainsi seulement 40 % de la teneur périurbaine de référence ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Mesure de BTEX par échantillonneurs passifs

Validation des mesures de BTEX

Analyse des valeurs de "blancs terrains"

Les résultats d'analyse des deux échantillonneurs passifs utilisés comme "blancs terrains", transportés lors de la pose et du ramassage mais non exposés ("blanc terrain"), respectivement pour les deux séries de mesure, sont reportés dans le tableau suivant. Les quantités sont exprimées en nanogrammes (ng). La mention "< LQ" indique que la quantité analysée est inférieure à la limite de quantification, soit 1 ng.

	série 1 06/05 - 13/05 2008	série 2 13/05 - 20/05 2008
benzène	1,4	3
toluène	56,1	27,5
éthylbenzène	< LQ	< LQ
ortho-xylène	< LQ	< LQ
méta-xylène + para-xylène	< LQ	< LQ

Quantités en présence dans les "blancs terrains"

Les valeurs élevées obtenues pour le toluène sont révélatrices d'un artefact au cours du mode opératoire. Une réflexion conduite en liaison avec le laboratoire d'analyse n'a pas permis d'identifier la cause, ce qui incite à invalider l'ensemble des mesures de toluène réalisées dans la présente étude, qui ne seront donc pas considérées dans la suite du rapport.

Pour les autres molécules, les faibles quantités en présence dans les échantillonneurs passifs utilisés comme "blancs terrains" ne montrent pas de contamination particulière.

Analyse des mesures en doublon

Les échantillonneurs passifs installés en doublon sur le site 5 permettent l'évaluation des écarts relatifs ER selon la procédure précédemment explicitée dans le cas du dioxyde d'azote. Les résultats relatifs au benzène, seules valeurs supérieures aux limites de quantification, sont présentés dans le tableau suivant pour les deux séries de mesure. Les concentrations sont exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	série 1 06/05 - 13/05 2008	série 2 13/05 - 20/05 2008
concentration échantillonneur passif 5A	0,2	0,5
concentration échantillonneur passif 5B	0,3	0,4
ER	20 %	11 %

Analyse des mesures de benzène sur le site 5, équipé d'un doublon d'échantillonneurs passifs

En valeur absolue, les écarts entre les deux mesures conjointes sont, pour les deux séries, égaux à $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les écarts relatifs correspondants sont inférieurs à 20 %. Ces faibles valeurs sont cohérentes avec une incertitude relative voisine de 20 % admise pour cette technique et confirment une répétabilité satisfaisante de la mesure.

Résultats des relevés de benzène

Les résultats détaillés des concentrations en benzène, exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), pour l'ensemble des sites et chaque série de mesure, sont fournis dans le tableau suivant. Les valeurs mesurées durant les mêmes périodes sur l'analyseur automatique de la station fixe de référence de l'Esplanade de la Gare à Clermont-Ferrand y sont également reportées.

Site	série 1 06/05 - 13/05	série 2 13/05 - 20/05	moyenne 06/05 - 20/05 2008
1	0,2	0,3	0,3
2	0,3	0,7	0,5
3	0,3	1,0	0,7
4	0,7	0,7	0,7
5	0,3	0,5	0,4
6	0,3	0,8	0,6
moyenne	0,3	0,7	0,5
site de l'Esplanade de la Gare	1,0	1,0	1,0

Concentrations en benzène mesurées avec les échantillonneurs passifs Comparaison avec l'analyseur en station fixe de l'Esplanade de la Gare (Clermont-Ferrand)

Les concentrations en benzène mesurées avec les échantillonneurs passifs sont faibles sur l'ensemble des sites de mesure et pour chacune des périodes d'exposition. La moyenne des mesures est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit la moitié du niveau de référence observé sur le site de l'Esplanade de la Gare. La teneur hebdomadaire maximale, de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, est relevée sur le site 3 au cours de la seconde série.

A la différence des résultats présentés pour le dioxyde d'azote, la répartition spatiale du benzène n'est pas caractérisée par une surexposition notable du site 4 de la barrière de péage. Pour ce second polluant, la relative homogénéité est étendue à l'ensemble des sites et aucune influence de la zone de démarrage des véhicules n'est mise en évidence par la mesure. Ce résultat peut être relié à l'évolution à la baisse, ces dernières années, des émissions de benzène par les véhicules, notamment en conséquence de la diminution réglementaire du taux de benzène dans la composition les carburants. La part sectorielle des transports routiers dans les émissions totale de benzène se réduit, notamment au profit du secteur résidentiel et tertiaire. Ce polluant perd ainsi progressivement son caractère de traceur de l'activité automobile.

Résultats des relevés d'éthylbenzène et xylènes

Les quantités d'éthylbenzène, d'ortho, méta et para-xylène en présence dans les échantillonneurs passifs sont, pour l'ensemble des sites et pour les deux séries de mesure, inférieures à la limite de quantification (1 ng). Ainsi, pour toutes ces molécules, les concentrations atmosphériques sont très faibles sur la zone d'étude.

Situation par rapport aux critères réglementaires

Les critères réglementaires nationaux relatifs aux concentrations en polluants dans l'air ambiant sont présentés en annexe 2. Ils sont généralement définis en terme de paramètres statistiques calculés sur une année complète de mesure, comme par exemple la moyenne annuelle. Dès lors, pour aborder les questions de normativité à partir de campagnes plus limitées dans le temps, il est nécessaire d'extrapoler les résultats. Cette généralisation peut s'appuyer sur la comparaison avec les stations fixes du réseau auvergnat, constituant la référence. L'historique des valeurs enregistrées sur ce réseau pérenne permet, en effet, de positionner les niveaux de pollution par rapport aux différents critères réglementaires.

Dioxyde d'azote

Compte-tenu de la différence très significative constatée entre l'environnement proche de la barrière de péage et le reste de la zone d'étude, il convient de distinguer ces deux situations dans la présente analyse de positionnement par rapport aux références réglementaires.

Hors zone d'influence de la barrière de péage

En dehors de la zone d'influence de la barrière de péage, les concentrations en dioxyde d'azote mesurées sont sensiblement inférieures aux niveaux périurbains clermontois. Ces dernières années, les stations fixes périurbaines mesurent des moyennes annuelles voisines de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit la moitié de l'objectif de qualité ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). Ces résultats laissent supposer un large respect de ce seuil réglementaire sur le site du Puy de Dôme dans sa configuration actuelle.

Le dispositif technique déployé, de résolution temporelle hebdomadaire, ne permet pas d'accéder directement à l'évolution horaire des concentrations. Cependant, les faibles teneurs moyennes observées, inférieures aux valeurs périurbaines clermontoises, sont caractéristiques d'une zone très peu exposée à la pollution azotée. Dans ces conditions, le risque de dépassement du seuil de recommandation et d'information ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire) est minime. Par suite, les deux critères réglementaires moins contraignants, $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire pour le seuil d'alerte, et 18 dépassements annuels de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire pour la valeur limite 2010, seraient également respectés.

Environnement proche de la barrière de péage

Il est plus délicat de préjuger des niveaux annuels de concentrations dans la zone particulière de démarrage des véhicules à la barrière de péage. En effet, les teneurs observées sur le site 4 sont sensiblement supérieures aux niveaux urbains de l'agglomération clermontoise pendant les deux premières semaines de campagne. De plus, la concentration moyenne de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'ensemble de la période, qui correspond à des conditions météorologiques dispersives, laisse présager que des teneurs plus importantes pourraient être atteintes en situation moins favorables à la dispersion des polluants. Sur cette base, le respect de l'objectif de qualité ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) et de la valeur limite 2010 (18 dépassements annuels de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire) n'est pas assuré en ce point particulier de la zone d'étude.

Cependant, il est important de noter que la fréquentation du site est nettement diminuée en dehors de la saison touristique estivale. L'extrapolation des résultats de ces mesures ponctuelles à l'échelle d'une année est par conséquent un exercice plus délicat qui doit considérer cette baisse significative des émissions en basse saison. Dans cette idée, il faut bien intégrer le fait qu'à émission constante, la période hivernale s'avère plus critique pour les niveaux de pollution azotée, dans la mesure où les conditions de dispersion sont généralement moins favorables.

Ces diverses considérations, d'influences contradictoires sur les teneurs en dioxyde d'azote, incitent à ne pas conclure sur la probabilité de dépassement des seuils réglementaires dans l'environnement proche de la barrière de péage.

Benzène

Les concentrations en benzène mesurées avec les échantillonneurs passifs montrent une faible exposition de l'ensemble de la zone d'étude. La valeur moyenne de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspond à la moitié du niveau de référence observé sur le site de l'Esplanade de la Gare, qui enregistre ces dernières années des teneurs annuelles comprises entre 2 et $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, et donc la valeur limite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle à l'horizon 2010, définis pour ce polluant, sont très probablement respectés sur l'ensemble de la zone d'étude.

Conclusions

Pour compléter l'analyse des relevés d'ozone et d'oxydes d'azote de la station du sommet du Puy de Dôme, objet du premier volet de ce rapport, une campagne de mesure par échantillonneurs passifs a été mise en œuvre du 6 mai au 3 juin 2008.

Les relevés de dioxyde d'azote ainsi réalisés permettent de préciser la répartition spatiale de la pollution azotée sur la zone d'étude, en ciblant les zones d'impact des émissions du trafic, a priori plus exposées. Ces mesures ont mis en évidence une surexposition notable de l'environnement proche de la barrière de péage, sous l'influence directe d'émissions accrues par les démarrages en côte des véhicules. Le respect de certains critères réglementaires relatifs au dioxyde d'azote n'est pas assuré en ce point particulier du domaine d'étude. En dehors de cette zone, l'ensemble du site présente des teneurs faibles à très faibles, relativement homogènes, qui traduisent ainsi l'absence d'impact significatif des voies de circulation. Dans ces conditions, le dépassement des divers seuils réglementaires est très peu probable.

Cette campagne spécifique a permis par ailleurs une évaluation des teneurs en benzène, autre polluant traceur de l'activité automobile dont la concentration dans l'air ambiant est soumise à réglementation. Cette première caractérisation du site concernant ce polluant montre des niveaux relativement faibles, ce qui laisse supposer le respect des normes sur l'ensemble de la zone d'étude.

Annexes

Annexe 1 : Les mécanismes de la pollution atmosphérique

Les processus qui régissent la pollution atmosphérique s'échelonnent en plusieurs étapes. Tout d'abord s'effectue l'émission des polluants, rapidement suivie de leur dispersion puis de la phase de transformation chimique, qui a lieu au sein même de l'atmosphère.

Émissions

Les émissions de polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air. Les polluants primaires, dont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les particules en suspension et certains composés organiques volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi bien des sources fixes (chauffages urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, en particulier les automobiles. La production de polluants primaires diminue en été car les chauffages ne fonctionnent pas et la circulation automobile s'allège dans les centres-villes.

Transport et dispersion

Le phénomène de dispersion, c'est-à-dire le déplacement des polluants depuis la source, est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau...).

Deux types de dispersion peuvent être distingués :

- la dispersion verticale, liée au gradient vertical de température de la couche de surface, couche inférieure de l'atmosphère influencée par la présence du sol,
- la dispersion horizontale, également dénommée transport, liée à la vitesse et à la direction du vent.

Ainsi, une situation anticyclonique, caractérisée par des vents faibles, limite la dispersion horizontale. En hiver, des températures basses et un ciel dégagé favorisent de plus l'inversion du gradient thermique vertical (présence d'air plus chaud en altitude qu'au sol), ce qui diminue la dispersion verticale. Cette situation, fréquemment observable à Clermont-Ferrand, favorise des niveaux de pollution élevés car elle entraîne une accumulation des gaz, et conduit ainsi à des pics de pollution. A l'inverse, une situation dépressionnaire, généralement associée à des vents plus sensibles, permet une bonne dilution des polluants dans l'atmosphère. De plus, les précipitations, entraînant le dépôt humide des polluants (phénomène de lessivage), contribuent à la diminution des concentrations.

Transformations chimiques

Au cours de la dispersion, les polluants peuvent se transformer par réactions chimiques complexes pour former les polluants secondaires tels que l'ozone et certains COV. Le dioxyde d'azote peut également être considéré comme essentiellement secondaire dans la mesure où les émissions directes des sources, bien que non négligeables, demeurent minoritaires.

La production d'ozone nécessite un fort rayonnement solaire et la présence de certains précurseurs, tels que les composés organiques volatils. Des réactions mêlant polluants primaires et secondaires se produisent alors, la plus courante étant la réaction réversible entre l'ozone et les oxydes d'azote ($\text{NO} + \text{O}_3 \leftrightarrow \text{O}_2 + \text{NO}_2$) qui a lieu en présence de lumière et pour de fortes concentrations en monoxyde d'azote. Cette réaction peut expliquer l'observation de teneurs en ozone plus faibles dans les agglomérations pendant les heures où le trafic est important (destruction de l'ozone par réaction avec le monoxyde d'azote). A contrario, les stations périurbaines, situées sous le vent de la ville, connaissent les pointes maximales d'ozone, car en l'absence d'émissions importantes de monoxyde d'azote, les masses d'air polluées transportées s'enrichissent en ozone.

Annexe 2 : Les critères réglementaires de la qualité de l'air

Les critères nationaux de qualité de l'air font l'objet des décrets 2002-213 du 15 février 2002, 2003-1085 du 12 novembre 2003 et 2007-1479 du 12 octobre 2007. Ces décrets résultent notamment de la transposition des directives européennes 1999/30/CE du 22 avril 1999, 2000/69/CE du 16 novembre 2000, 2002/3/CE du 12 février 2002 et 2004/107/CE du 15 décembre 2004.

Les dispositions de cette réglementation sur la qualité de l'air ont été intégrées au Livre II, Titre II, chapitre 1^{er} du Code de l'environnement et font notamment l'objet des articles L.221-1 et R.221-1.

Terminologie

Les différents niveaux de concentration fixés dans la réglementation française sont les suivants :

- **objectif de qualité** : 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 ;
- **valeur limite** : 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 ;
- **seuil de recommandation et d'information** : seuil au-delà duquel la concentration en polluants a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée ;
- **seuil d'alerte** : 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'urgence doivent être prises.

Critères nationaux de la qualité de l'air

dioxyde d'azote

critère	paramètre statistique	valeur applicable en 2010 (en µg/m ³)	remarque
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	centile 99,8 horaire (18 heures / an)	200	
	moyenne annuelle	40	
Objectif de qualité	moyenne annuelle	40	
Seuil de recommandation et d'information	moyenne horaire	200	
Seuil d'alerte	moyenne horaire	400 / 200	200 si l'épisode de pollution perdure sur plusieurs jours

benzène

critère	paramètre statistique	valeur applicable en 2010 (en µg/m ³)	remarque
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	moyenne annuelle	5	
Objectif de qualité	moyenne annuelle	2	

Ozone

critère	paramètre statistique	valeur applicable en 2010 (en µg/m ³)	remarque
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	moyenne sur 8 heures	120	
Objectifs de qualité pour la protection de la végétation	AOT40* de mai à juillet	6000 µg.h.m ⁻³	
Seuil de recommandation et d'information	moyenne horaire	180	
Seuils d'alerte :			
- 1 ^{er} seuil	moyenne horaire	240	sur 3 h consécutives
- 2 ^e seuil	moyenne horaire	300	
- 3 ^e seuil	moyenne horaire	360	

*AOT40 : Accumulated Over Threshold of 40 ppb : niveau cumulé d'exposition au delà de 40 ppb (partie par milliard). Cet indicateur, exprimé en µg.h.m⁻³, est égal à la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures. Le seuil fixé est de 6000 µg.h.m⁻³ pour l'AOT40 calculé à partir des concentrations enregistrées entre le 1^{er} mai et le 31 juillet.