



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*



DIOXYDE D'AZOTE¹

Les retombées atmosphériques issues des émissions d'une ICPE, constituées de gaz et/ou de particules, pourront conduire, en fonction des substances et de l'usage des milieux, à une exposition directe (par inhalation) ou indirecte (par ingestion) des populations. L'objectif d'une surveillance environnementale est donc de disposer de résultats de mesure qui vont permettre de déterminer si ces retombées atmosphériques risquent de dégrader l'environnement et le cas échéant si cette dégradation peut provoquer des effets sanitaires sur la population générale. Le Guide sur la surveillance dans l'air autour des installations classées s'attache à expliquer la méthodologie générale pour réaliser correctement une surveillance environnementale.

Le présent document, quant à lui, complète le guide général en présentant les principales caractéristiques physico-chimiques, les valeurs de gestion et niveaux mesurés dans l'air ambiant et/ou dans les dépôts atmosphériques, ainsi que les méthodes de mesures appropriées pour une substance donnée.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Milieux et Impacts sur le Vivant

Rédaction : CULEUX Orane

Vérification : MIGNE Virginie, BOCQUET Nathalie, CLAUDE Théo, QUERON Jessica

Approbation : MORIN Anne

1. Physico-chimie^{2,3}

Le dioxyde d'azote (n° CAS : 10102-44-0), NO₂, est un gaz que l'on observe dans l'atmosphère et provient principalement de l'oxydation du monoxyde d'azote (NO) produit par les systèmes de combustion. La famille des oxydes d'azote (NO_x), dont font partie le NO et NO₂, joue un rôle important dans la pollution atmosphérique et indirectement dans la contribution aux émissions de gaz à effet de serre, car ces composés interagissent avec l'ozone troposphérique. C'est pour ces raisons que cette famille est soumise à la réglementation².

La demi-vie du dioxyde d'azote (NO₂) dans l'atmosphère, en raison de sa réaction avec les radicaux hydroxyles, est estimée à 35 heures¹. Le NO₂ est caractérisé par une odeur âcre et piquante, avec une limite de détection olfactive³ de 0,11 ppm (210 µg/m³).

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant pour les muqueuses respiratoires. Il participe à la formation des pluies acides, et ainsi contribue à l'acidification des milieux naturels.

2. Valeurs de gestion dans l'air ambiant^{1,4,5,6}

Les valeurs réglementaires sont données à titre indicatif, il est recommandé de se reporter au Portail Substances Chimiques (PSC)¹ et, le cas échéant, au rapport « Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 30/06/2020 » (Ineris-20-200358-2190502-v 3.0 – Mai 2021) mis à jour régulièrement.

Les normes de qualité de l'air (valeurs de gestion de la qualité de l'air en vigueur en France dans le cadre d'une surveillance nationale air ambiant), fixées par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010, sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: Valeurs réglementaires de concentration de dioxyde d'azote dans l'air ambiant⁴

Type de valeur	Valeur en µg/m ³	Période de référence
Objectif de qualité	40	En moyenne annuelle civile
Seuil d'information et de recommandations	200	En moyenne horaire
Seuil d'alerte	400	En moyenne horaire, sur trois heures consécutives
	200	En moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le NO ₂ a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	200	En moyenne horaire, à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
	40	En moyenne annuelle civile

Chaque valeur réglementaire dans l'air est associée à une période de mesure précise. Il s'agit de valeurs moyennes qui ont été établies sur des périodes de référence pertinentes pour les effets considérés. Pour chaque valeur, l'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 °K et 101,3 kPa.

La directive sur la qualité de l'air ambiant 2008/50, de laquelle le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 est la transposition en droit français, a été révisée récemment par la Commission Européenne. Cette nouvelle directive nommée Directive 2024/2881 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe⁵ a été officiellement publiée le 20 novembre 2024 pour fixer des nouvelles normes pour l'UE pour 2030 alignées sur les recommandations de l'OMS et

un objectif pollution zéro d'ici à 2050. Pour le NO₂, les nouvelles valeurs limites plus contraignantes présentées dans le tableau ci-dessous seront applicables à partir du 1^{er} janvier 2030.

Tableau 2 : Valeurs limites du dioxyde d'azote (NO₂) pour la protection de la santé humaine devant être atteintes au plus tard le 1^{er} janvier 2030

Type de valeur	Valeur en µg/m ³	Période de référence
Valeurs limites	200	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile
	50	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
	20	Moyenne Annuelle sur une année civile
Seuil d'alerte	200	Moyenne horaire (à mesurer en moyenne horaire sur 3 heures consécutives)
Seuil d'information	150	Moyenne horaire (à mesurer sur 1h)

Pour rappel, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a établi en 2005, puis révisé en 2021, des valeurs seuils pour l'exposition à long terme et à court terme au dioxyde d'azote (NO₂). La révision fait suite à des études démontrant que la pollution atmosphérique a des effets néfastes sur la santé à des niveaux bien inférieurs à ceux qui avaient été décelés précédemment⁶.

Tableau 3 : Valeurs recommandées par l'OMS (2021) pour le dioxyde d'azote

Type de valeur	Valeur en µg/m ³	Période de référence
Niveaux recommandés	25	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an
	10	Moyenne annuelle

3. Niveaux mesurés dans différents types de milieux atmosphériques^{7,8}

Ces niveaux sont donnés à titre indicatif, il est recommandé de vérifier si des données plus récentes ou plus spécifiques à la situation étudiée sont disponibles en France.

Bien que le dioxyde d'azote soit également émis par des sources naturelles (les éruptions volcaniques et les feux de forêts), sa présence dans l'environnement est principalement liée aux activités anthropiques. Ces activités incluent la combustion de combustibles fossiles ou de biomasse dans divers secteurs comme le transport routier, les installations de combustion pour la production d'électricité, le chauffage urbain, ainsi que dans les secteurs industriels, résidentiels et tertiaires. En outre, certains procédés industriels contribuent également à ces émissions, notamment la production d'acide nitrique, la fabrication d'engrais, et le traitement de surfaces.

Selon le CITEPA⁷, pour la plupart des secteurs dont principalement le transport, l'évolution des émissions de NO_x de ces dernières années est en légère baisse, -6,6% entre 2022 et 2023, poursuivant la dynamique d'une forte baisse historique entamée depuis les années 1990 (-70% entre 1990 et 2023).

Malgré cette tendance, les concentrations mesurées restent cependant préoccupantes par rapport aux recommandations de l'OMS.

La base de données Geod'Air⁸ recense les valeurs de fond en France. Le tableau 4 présente les valeurs mesurées dans différents types d'environnements entre 2021 et 2023.

Tableau 4 : Valeurs de fond de dioxyde d'azote mesurées en France métropolitaine (2021 - 2023)

Environnements	Moyenne (µg/m ³)	Nombre de stations
Urbain	13,7	176
Périurbain	11,5	50
Rural	4,1	26
Industriel	9,3	28
Trafic	26,1	100

4. Méthodes de mesures des concentrations^{9,10,11,12}

Pour le dioxyde d'azote, l'inhalation est la principale voie d'exposition aux retombées atmosphériques. Par conséquent, seules les concentrations dans l'air sont mesurées. Ces mesures peuvent être réalisées par des méthodes automatiques ou par des méthodes manuelles, donnant des résultats en continu ou intégrés.

4.1. Méthodes automatiques

4.1.1. Chimiluminescence

La chimiluminescence est une méthode de mesure en continu du NO₂ dans l'air ambiant. L'air ambiant passe d'abord dans un four à catalyse en molybdène chauffé à haute température, où les oxydes d'azote sont réduits en monoxyde d'azote. Le monoxyde d'azote pur est ensuite mélangé avec un excès d'ozone dans la chambre de réaction. Le rayonnement infrarouge émis est directement proportionnel à la quantité totale d'oxydes d'azote (NO_x). La concentration de NO₂ est calculée par différence ($[NO_x] = [NO] + [NO_2]$ donc $[NO_2] = [NO_x] - [NO]$). La radiation de chimiluminescence, dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de dioxyde d'azote dans l'air prélevé, est sélectionnée par un filtre optique et converti en signal électrique par un photomultiplicateur.

La chimiluminescence est la méthode normalisée⁹ (NF EN 14211) actuellement utilisée par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air en France. Cette méthode permet de mesurer des concentrations en NO₂ comprises entre 0 et 500 µg/m³ avec une limite de détection souvent de l'ordre du ppb (~2 µg/m³).

4.1.2. Méthodes reposant sur l'absorption optique

De nombreuses méthodes reposant sur l'absorption optique des gaz permettent la quantification du NO₂. Il s'agit des méthodes TDLAS (pour Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy), CAPS (pour Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy), DOAS (pour Differential Optical Absorption Spectroscopy), UV-DIAL (pour Differential Absorption Lidar) et FTIR (pour Fourier Transform Infrared Spectroscopy).

L'avantage de ces méthodes est de fournir des données en temps réel et en continu sur de longues périodes avec une bonne sélectivité du polluant ciblé, ce qui renforce la représentativité temporelle des campagnes de mesure.

Ces méthodes reposent, directement ou indirectement, sur la loi de Beer-Lambert, qui décrit la relation entre l'absorption d'un rayonnement électromagnétique et la concentration du gaz absorbant. Cette loi est fondée sur le fait que chaque gaz possède un spectre d'absorption spécifique, lui permettant d'absorber certaines longueurs d'onde de manière caractéristique.

Ces méthodes peuvent se distinguer par la présence ou l'absence d'échantillonnage de l'air. Les méthodes TDLAS et CAPS fonctionnent par échantillonnage de l'air qui est analysé dans une cavité optique interne (deux miroirs face à face qui démultiplient l'interaction entre l'onde électromagnétique et le gaz prélevé).

Certains dispositifs, dits « à chemin ouvert » fonctionnent sans échantillonnage (cas des DOAS¹⁰ et UV-DIAL, à noter que le FTIR en chemin ouvert est parfois utilisé¹¹ mais est en général nettement moins sensible que les mesures UV du fait de la forte absorption du NO₂ dans cette gamme). Dans ce cas, la concentration obtenue est moyennée soit sur la longueur du chemin optique (de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres dans le cas d'un DOAS avec rétro réflecteur, voire sur toute une colonne optique pour les DOAS utilisant le soleil comme

source UV) soit sur une certaine résolution spatiale le long de l'axe optique propre au LiDAR utilisé pour la mesure UV-DIAL. De ce fait, les méthodes en chemin ouvert sont particulièrement adaptées au suivi des panaches de pollution ou des émissions diffuses étendues.

Tableau 5 : Résumé des techniques de mesure du NO₂ par spectrométrie d'absorption.

Méthode	Principe	Echantillonnage
TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)	Mesure par absorption différentielle basée sur un balayage en longueur d'onde d'un laser accordable	Oui
CAPS (Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy)	Mesure par détection hétérodyne du déphasage d'un laser traversant une cavité optique contenant un gaz absorbant	Oui
FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	Mesure par absorption différentielle à partir d'un spectre IR obtenu par transformée de Fourier	Oui en chemin fermé, non en chemin ouvert
DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)	Mesure par absorption différentielle à partir d'un spectre UV-Visible	Non
DiAL (Differential Absorption Lid)	Mesure par absorption différentielle à partir de l'intensité rétrodiffusée d'impulsions lumineuses à différentes longueurs d'onde	Non

L'échantillonnage temporelle de ces techniques est relativement court (de l'ordre quelques minutes voire inférieur à la minute). Pour les plus répandues, leur faible maintenance en opération et leurs coûts de fonctionnement faibles autorisent leur déploiement sur des campagnes de longue durée, voire de les installer de manière pérenne en périphérie de sites industriels.

Les problèmes rencontrés sur ces techniques sont ceux propres à l'instrumentation optique : alignement des faisceaux, sensibilité aux vibrations, ajustement de la source et du mode de détection à la nature et à la concentration des espèces à mesurer.

Ces méthodes permettent de mesurer des concentrations en NO₂ en général comprises entre 0 et 1 ppm (~2 mg/m³) avec une limite de détection souvent inférieure au ppb (~2 µg/m³).

4.2. Méthodes Passives

Le prélèvement passif est effectué à l'aide de tubes à diffusion¹², qui sont des cartouches contenant un adsorbant. Le prélèvement est ainsi réalisé sur des périodes de plusieurs jours et moyenne les variations de concentration. La durée d'exposition ainsi que les conditions de température ambiante sont prises en compte pour la détermination de la concentration en composé recherché.

La cartouche est en polyéthylène microporeux imbibé de triéthanolamine (TEA) humide. Après diffusion au travers d'un corps poreux, le NO₂ est chimisorbé par la TEA sous forme de ions nitrites. L'ion nitrite peut être mesuré soit par la spectrométrie visible soit par la chromatographie ionique. La concentration du gaz recherché en µg/m³ est ensuite calculée à partir de la masse du composé retrouvée sur le tube après analyse et du débit de piégeage défini par le fabricant.

Les tubes passifs les plus utilisés sont les tubes radiaux de type Radiello®. Des expositions jusqu'à 15 jours sont permises, mais une durée d'échantillonnage supérieure à 7 jours est déconseillée si l'humidité moyenne de l'air est supérieure à 70% durant toute la durée de l'échantillonnage. La limite de quantification pour une exposition de 7 jours est de 1 ppb (~2 µg/m³) avec une incertitude de 1~2%.

4.3. Synthèse

Méthodes		Normes	Résolution temporelle	Limite de détection / quantification
Mesures en temps réel	avec échantillonnage	NF EN 14211 pour la chimiluminescence	< 3 min pour la chimiluminescence de l'ordre de la seconde pour TDLAS et CAPS	< ppb (< 2 µg/m³)
	sans échantillonnage	NF EN 16253 pour le DOAS NF EN 15483 pour le FTIR en chemin ouvert VDI 4210 (allemande) pour l'UV-DIAL	de l'ordre de la minute	de l'ordre du ppb (~2 µg/m³) pour DOAS de l'ordre de 10 ppb (~2 µg/m³) pour FTIR de l'ordre de 50 ppb pour l'UV-DIAL (~100 µg/m³)
Mesures intégrées	Tube de diffusion (passif)	FD X43-070-4 pour l'estimation de l'incertitude dans le cas d'une analyse par spectrophotométrie	7 jours	1 ppb (~2 µg/m³)

5. Références

- ¹ Ineris (2024). Portail Substances Chimiques : Dioxyde d'Azote (<https://substances.ineris.fr/substance/10102-44-0>) – Consulté en 2025.
- ² Ineris (2025). Portail AIDA : Techniques et traitement des différents polluants, Les oxydes d'azote (NOx). (<https://aida.ineris.fr/inspection-icpe/air/techniques-traitement-differents-polluants/techniques-traitement-differents>)
- ³ INRS (2020). Base de données : Fiche toxicologique n°133 Oxydes d'azote (https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_133§ion=caracteristiques) – Consulté en 2025.
- ⁴ Code de l'Environnement (2010). Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air, NOR : DEVE1016116D, JO n°247 du 23 octobre 2010.
- ⁵ Journal officiel de l'Union européenne (2024). Directive (UE) 2024/2881 du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (refonte)
- ⁶ WHO (2021). Recommended 2021 AQG levels compared to 2005 air quality guidelines (<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>) – Consulté en 2025.
- ⁷ Citepa (2024). Rapport Secten éd. 2024 : Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2023. Téléchargeable à ce lien : <https://www.citepa.org/fr/secten/>.
- ⁸ Données de la base Geod'Air (2025). <https://www.geodair.fr/donnees/consultation> – Consulté en 2025
- ⁹ AFNOR (2012). NF N14211 : 2012 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence – Qualité de l'air ambiant.
- ¹⁰ AFNOR (2013). NF EN 16253 : Qualité de l'air – Mesurages atmosphériques à proximité du sol par Spectroscopie d'Absorption Optique Différentielle (DOAS) – Mesurage de l'air ambiant et des émissions diffuses.
- ¹¹ AFNOR (2009). NF EN 15483 : Mesurage de l'air ambiant à proximité du sol par spectroscopie à transformée de Fourier (FTIR).
- ¹² Radiello (2025). Working : Air quality monitoring with the original system by Radiello. (<https://radiello.com/diffusive-sampler/>). Consulté en 2025.