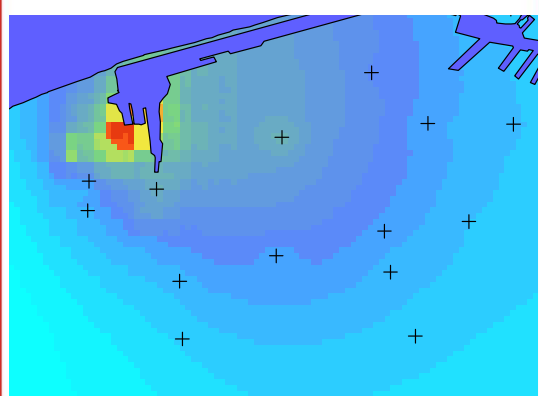


Campagne de mesures de la qualité de l'air



**Etude réalisée du 20/07/2006 au 31/08/2006
et du 11/01/2007 au 01/03/2007 - Tubes Passifs**



Cartographie des concentrations moyennes en dioxyde d'azote et BTEX sur l'agglomération de Dunkerque Eté 2006 - Hiver 2007

**Rapport d'étude N°22-2007-SE
44 pages (hors couvertures)
Parution : Septembre 2007**

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom	Charles BEAUGARD	Arabelle ANQUEZ	Caroline DOUGET
Fonction	Ingénieur d'Etudes	Ingénieur d'Etudes	Directrice du Service Etudes

Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information Atmo Nord - Pas de Calais, rapport N° 22-2007-SE ».

Les données contenues dans ce document restant la propriété d'Atmo Nord - Pas de Calais peuvent être diffusées à d'autres destinataires.

Atmo Nord - Pas de Calais ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.

Sommaire

Sommaire	2
Contexte et objectifs de l'étude	3
Organisation stratégique de l'étude	4
Situation géographique	4
Emissions connues.....	4
Technique utilisée : tubes à diffusion passive.....	7
Chronologie	8
Plans d'échantillonnage	9
Polluants surveillés	10
BTEX.....	10
Dioxyde d'azote	11
Repères réglementaires	12
Recommandations de l'OMS	12
Valeurs réglementaires en air ambiant	12
Résultats de mesures	14
Contexte météorologique	14
Suivi Métrologique	16
Résultats chiffrés	19
Cartographie des concentrations en dioxyde d'azote	22
Cartographie des concentrations en benzène.....	27
Conclusion	31
Annexes	33
Plan d'échantillonnage de la zone d'étude	34
Liste des sites de mesure	35
Technique utilisée.....	36
Météorologie.....	40
Tableau de données du dioxyde d'azote.....	42
Tableaux de données des BTEX	43

Contexte et objectifs de l'étude

Une première série de campagnes de mesure des BTX avait été réalisée dans l'agglomération de Dunkerque par l'association Opal'Air au cours de l'année 2001, afin de tenir compte des évolutions de la législation française et européenne sur la surveillance de la qualité de l'air, et ainsi réaliser une première évaluation des concentrations de ces polluants¹.

Des cartographies des concentrations moyennes de BTX avaient notamment pu être réalisées. Elles montraient un risque de dépassement de l'objectif de qualité pour le benzène dans le secteur de Mardyck. Pour le NO₂, bien que des mesures en continu soient effectuées depuis la création du réseau sur Dunkerque, aucune cartographie des concentrations moyennes à partir d'observations n'a encore été réalisée. L'agglomération de Dunkerque comporte plusieurs grandes sources ponctuelles d'oxydes d'azote, et est affectée par un trafic non négligeable compte tenu de sa taille, et lui aussi responsable de rejets d'oxydes d'azote.

Plus récemment, une étude² mettant en œuvre un modèle gaussien a permis d'obtenir des cartes de concentrations, mais en simulant la dispersion des seules sources industrielles. Cette étude mettait par ailleurs en évidence des sources de benzène qui n'étaient pas mises en évidence avec les mesures par échantillonneurs passifs effectuées en 2001.

Dès lors, un besoin s'est fait ressentir de compléter la connaissance des concentrations de ces deux polluants sur l'agglomération de Dunkerque. Pour les BTX en 2006, 5 années se sont écoulées depuis la dernière étude, ce qui rend nécessaire une mise à jour de l'évaluation, en particulier pour vérifier la persistance du risque de dépassement sur Mardyck.

Pour le dioxyde d'azote, à l'intérêt de cartographier les concentrations moyennes vient s'ajouter la nécessité de trouver un site fixe supplémentaire de typologie urbaine dans l'agglomération dunkerquoise, notamment pour le respect des règles de calcul de l'indice Atmo.

Les objectifs de l'étude définis par Atmo Nord-Pas-de-Calais sont donc les suivants :

- la cartographie de la pollution de fond par le dioxyde d'azote dans l'agglomération dunkerquoise,
- la mise à jour de l'évaluation de la pollution par les BTEX, notamment en proximité industrielle.

Quelques mesures complémentaires en situation de proximité automobile ont été demandées par la Maison de l'Environnement de Dunkerque afin d'estimer l'impact du trafic sur la qualité de l'air au niveau des entrées de 4 écoles sélectionnées dans l'agglomération.

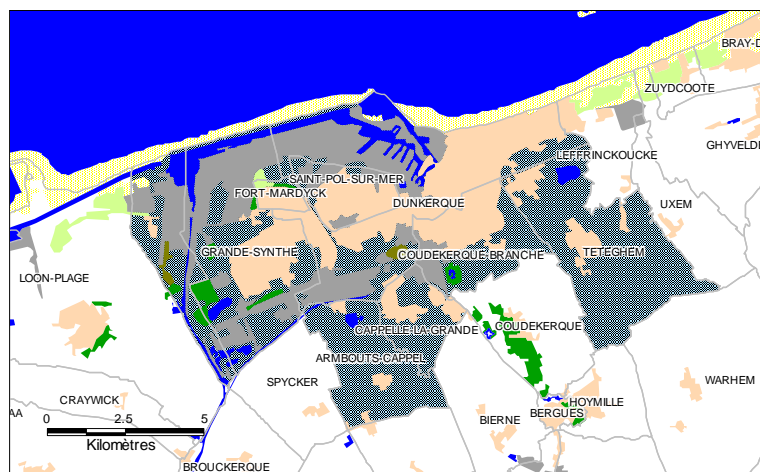
Ce rapport présente la synthèse des résultats de cette campagne, qui s'est déroulée en 2 phases : une phase estivale du 20 juillet 2006 au 31 août 2006 et une phase hivernale du 11 janvier 2007 au 01 mars 2007.

¹ Opal'Air, « Campagne de mesure des BTX et de l'éthylène par canisters sur l'agglomération Dunkerquoise », 2001, et « Mesure et cartographie des BTX par échantillonneurs passifs sur les agglomérations dunkerquoise et boulonnaise », 2002

² SPPPI Flandre Côte d'Opale, « Etude de l'impact des rejets industriels sur la santé des populations de l'agglomération dunkerquoise », 2004

Organisation stratégique de l'étude

Situation géographique



Copyright BDCarto® - ©IGN 2003 – Reproduction interdite

La campagne de mesure a été menée sur l'agglomération de Dunkerque. Le territoire couvert concerne 8 communes pour une population totale de 163883 habitants.

La majorité des sites de mesure sélectionnés sont en situation de fond à l'intérieur des espaces urbanisés (types urbains et périurbains). Viennent s'ajouter quelques sites en situation de proximité industrielle – près de la zone industrialoportuaire notamment, ainsi que 4 sites en proximité automobile au niveau de 4 écoles.

Commune	Population 1999
ARMBOUTS-CAPPEL	2677
CAPPELLE-LA-GRANDE	8613
COUDEKERQUE-BRANCHE	24152
DUNKERQUE	70850
FORT-MARDYCK	3770
GRANDE-SYNTHE	23247
SAINT-POL-SUR-MER	23337
TETEGHEM	7237
Total	163883

Emissions connues

La connaissance des émissions potentielles de polluants sur le secteur d'étude constitue une première évaluation de la qualité de l'air. La répartition géographique et par type d'activité des émissions peut être estimée dans l'agglomération étudiée grâce au cadastre régional des émissions de polluants.

Ainsi les rejets de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), de benzène (C₆H₆) et d'oxydes d'azote (NO_x) ont été estimés au niveau de la commune dans le périmètre du Plan de Protection de l'Atmosphère de l'agglomération Dunkerquoise (18 communes). Les 8 communes couvertes par l'étude sont incluse dans ce périmètre. La répartition par type d'activité, est basée sur les catégories SECTEN³.

³ Secteurs Economiques et Energie, format de restitution des inventaires d'émissions utilisé notamment par le CITEPA.

➤ Répartition des émissions de COVNM, de benzène de d'oxydes d'azote par commune et par catégorie SECTEN

Emissions de COVNM en kg par an.

	Agriculture - Sylviculture	Autres transports	Biogénique	Industrie manufacturière	Résidentiel & tertiaire	Transformation d'énergie	Transports routiers
Armbouts-Cappel	7249	1	0	6389	13499		36189
Cappelle-la-Grande	537	3	0	218503	36071	0	24140
Coudekerque-Branche	1790	19	0	29396	479168	9411	102929
Dunkerque	32819	21889	0	2869687	443266	70102	147921
Fort-Mardyck	944	0	0	8380	13849		1509
Grande-Synthe	3180	782	0	599710	106203	2271	116587
Saint-Pol-sur-Mer	657	605	0	221440	137095	175	6302
Teteghem	2878	0	0	31259	26047	0	41990
SOMME	50053	23299	0	3984764	1255198	81959	477567

Emissions de benzène en kg par an.

	Agriculture - Sylviculture	Autres transports	Biogénique	Industrie manufacturière	Résidentiel & tertiaire	Transformatio n d'énergie	Transport s routiers
Armbouts-Cappel	0	0	0	5	118		504
Cappelle-la-Grande	0	0	0	8	446	0	341
Coudekerque-Branche	0	1	0	35	2830	5	1132
Dunkerque	3405	1021	0	127943	4743	56	1754
Fort-Mardyck	0	0	0	5	195		21
Grande-Synthe	0	36	0	27692	1083	23	1049
Saint-Pol-sur-Mer	0	28	0	56	1285	2	88
Teteghem	0	0	0	29	342	0	433
SOMME	3405	1087	0	155774	11042	86	5321

Emissions d'oxydes d'azote en kg par an.

	Agriculture - Sylviculture	Autres transports	Biogénique	Industrie manufacturière	Résidentiel & tertiaire	Transformation d'énergie	Transports routiers
Armbouts-Cappel	5743	5	0	4011	2704		50806
Cappelle-la-Grande	587	26	0	10566	10109	0	34821
Coudekerque-Branche	1230	167	0	16659	169697	68176	183470
Dunkerque	15933	444203	0	1909471	102703	983136	252612
Fort-Mardyck	1146	0	0	670	4282		2061
Grande-Synthe	4463	7032	0	7473375	23261	0	194026
Saint-Pol-sur-Mer	740	5450	0	14655	25530	0	8608
Teteghem	2786	0	0	5878	9200	0	66976
SOMME	32628	456883	0	9435284	347486	1051312	793380

Si l'on considère le domaine étudié dans sa globalité, la majorité des émissions en COV, benzène et oxydes d'azote provient du secteur de l'industrie manufacturière, très présent sur le Dunkerquois. Ainsi les communes de Dunkerque et Grande-Synthe comportent des rejets

importants dans les secteurs de l'industrie manufacturière et de la transformation d'énergie. Selon la présence ou non d'une industrie dans la commune, les rejets peuvent varier fortement : c'est notamment le cas avec le benzène pour lequel, en l'absence d'industrie, la part la plus importante des rejets provient du secteur résidentiel et tertiaire, suivi du transport routier. Cette distribution des émissions est susceptible d'impliquer des phénomènes de proximité dans la répartition des concentrations.

Les émissions du secteur résidentiel et tertiaire sont directement liées à la taille et la population de la commune, ainsi qu'au type d'habitation majoritairement présent.

Du point de vue du trafic automobile, l'agglomération dunkerquoise comporte un trafic dense dans les centres compte tenu de sa taille, ainsi que des axes de situation majeurs comme l'A16.

Technique utilisée : tubes à diffusion passive

Le principe général de cette méthode est basé sur la diffusion naturelle de l'air à travers une membrane. Le polluant est piégé par adsorption sur une cartouche. Cette méthode est simple à mettre en œuvre puisqu'elle ne nécessite ni emplacement important ni alimentation électrique. Ainsi, les tubes passifs peuvent être installés en grand nombre et quadriller la zone d'étude.

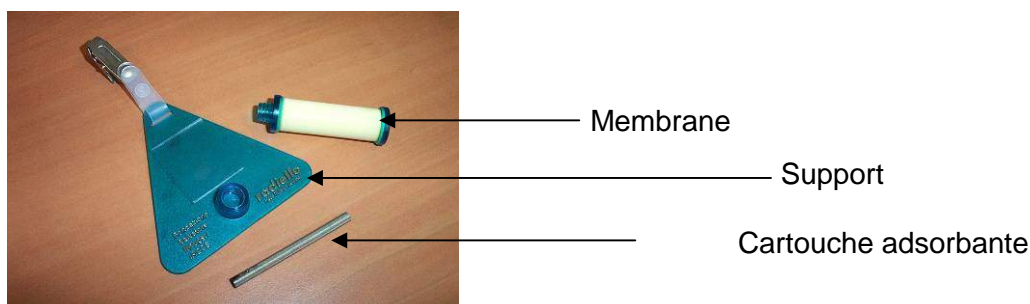
Par contre, l'information sur les concentrations en polluants n'est pas très fine temporellement : une fois exposés, les cartouches sont envoyées au laboratoire qui fournit une valeur moyenne intégrée sur le nombre de jours d'exposition. Ce moyen de prélèvement ne permet pas de mettre en évidence les pointes de pollution.



➤ Echantillonneurs passifs BTEX

Les tubes ont été analysés par le laboratoire de chimie d'AIRPARIF.

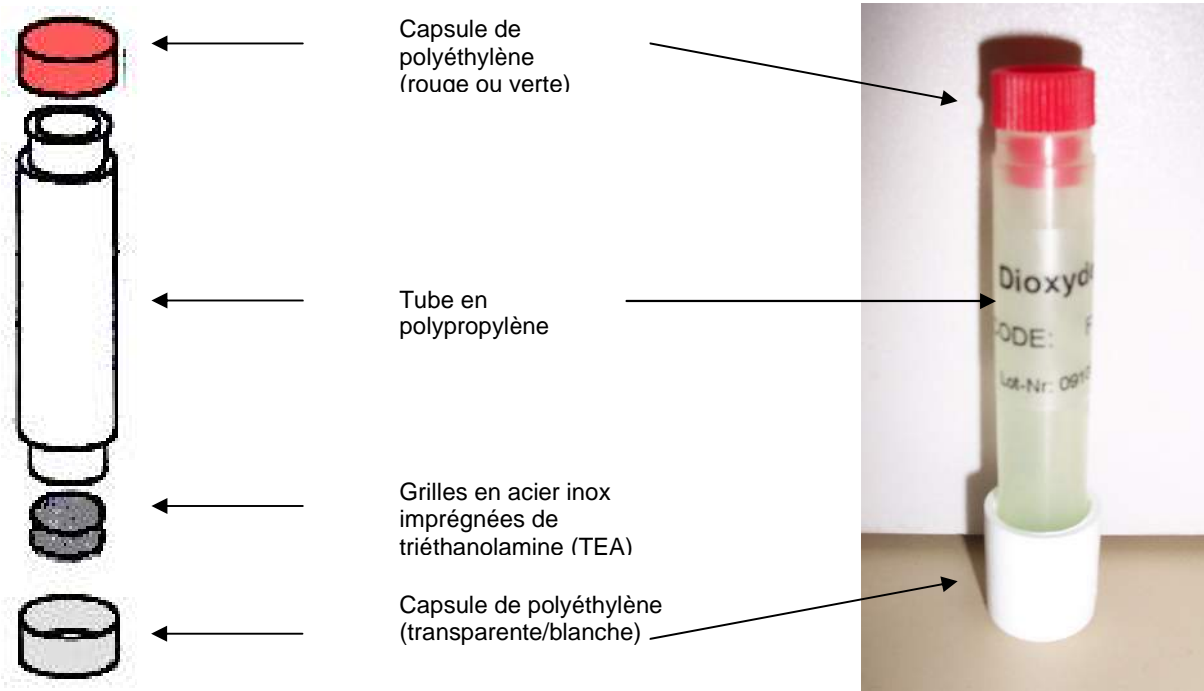
Les polluants BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) ont été mesurés par cette méthode. Les informations détaillées sur les méthodes par tubes à diffusion passive figurent en annexes.



➤ Echantillonneurs passifs NO₂

Pour la mesure du dioxyde d'azote, des échantillonneurs passifs de la marque PASSAM AG ont été utilisés. Ce type d'échantillonneurs, inspiré du tube de Palmes, est aujourd'hui largement répandu.

Leur principe de fonctionnement est celui de la diffusion du polluant visé à travers la colonne d'air formée par le tube, d'une longueur et d'un diamètre de quelques centimètres, jusqu'au milieu absorbant où il est capté et accumulé sous la forme d'un ou plusieurs produits d'absorption. La triéthanolamine ou TEA est l'absorbant utilisé pour l'échantillonnage du NO₂.



Les tubes ont été exposés à l'intérieur de boîtes de protection prévues à cet effet pour limiter l'influence du vent sur l'échantillonnage.

Toutes les analyses ont été confiées au fournisseur PASSAM AG. La quantité totale de dioxyde d'azote est extraite et déterminée par colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzman.

Chronologie

➤ Dioxyde d'azote NO₂

Phase été		Phase hiver	
Début	Fin	Début	Fin
20/07/06	03/08/06	18/01/07	1/02/07
03/08/06	17/08/06	1/02/07	14/02/07
17/08/06	31/08/06	04/02/07	1/03/07

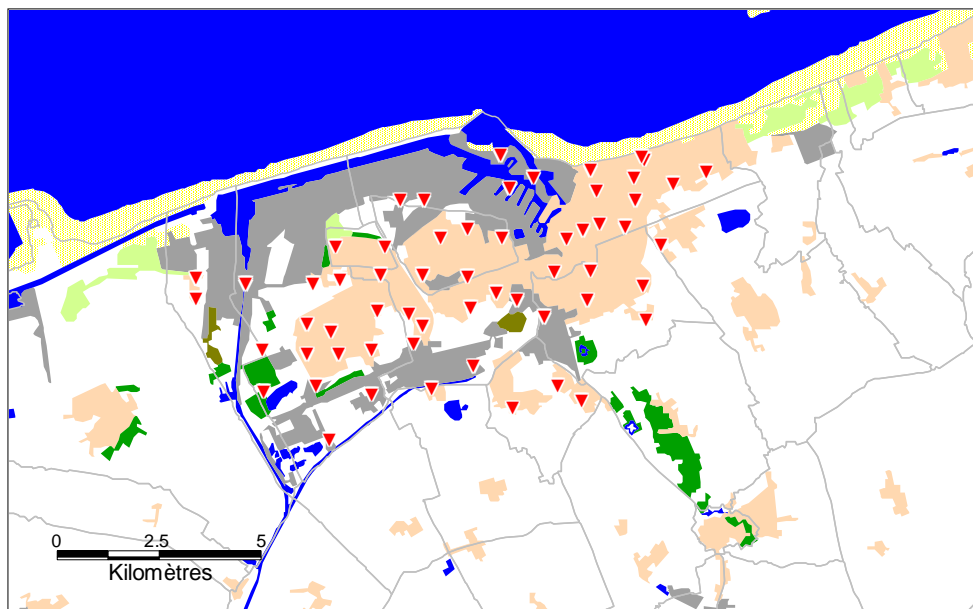
➤ BTEX

Phase été		Phase hiver	
Début	Fin	Début	Fin
27/07/06	03/08/06	11/01/07	18/01/07
03/08/06	10/08/06	18/01/07	25/01/07
10/08/06	17/08/06	25/01/07	01/02/07

Plans d'échantillonnage

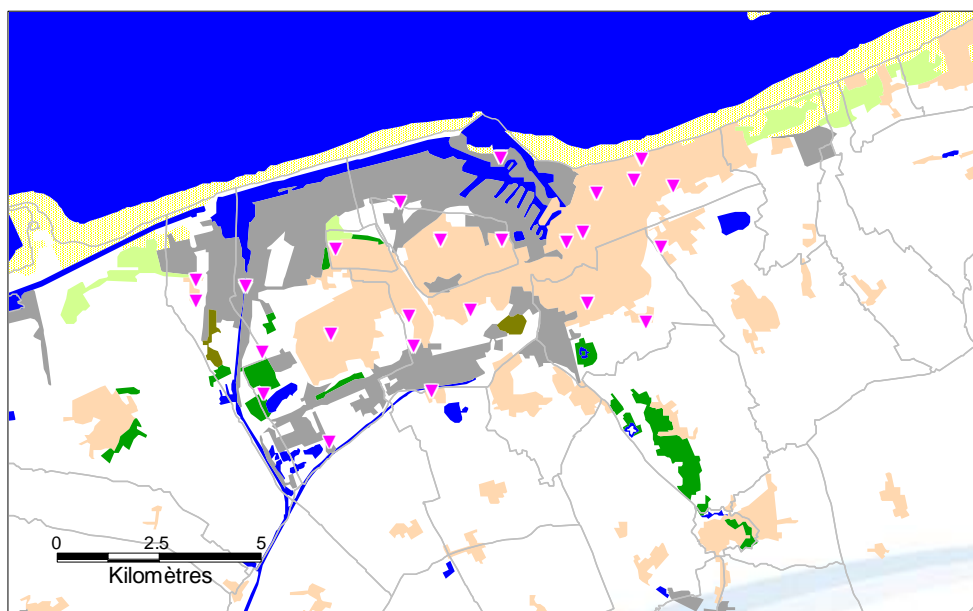
61 sites NO₂ et 25 sites BTX ont été sélectionnés sur le domaine d'étude. Chaque site BTX est équipé d'un échantillonneur NO₂.

Plan d'échantillonnage pour le dioxyde d'azote



Copyright BDCarto® - ©IGN 2003 – Reproduction interdite

Plan d'échantillonnage pour les BTEX



Copyright BDCarto® - ©IGN 2003 – Reproduction interdite

Polluants surveillés

BTEX

➤ Propriétés physico-chimiques et origine

Pour la plupart, les composés organiques volatils sont des hydrocarbures, qui proviennent du trafic routier (gaz d'échappement imbrûlés), de l'utilisation industrielle, professionnelle et domestique des solvants (peintures, vernis, colles, résines), et de l'évaporation à partir du stockage des hydrocarbures (stations services et centre de stockage).

Dans cette famille, les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) sont particulièrement suivis ; le benzène notamment, qui est introduit dans l'essence depuis quelques années en remplacement du plomb afin d'augmenter le pouvoir antidétonnant de l'essence.

Le benzène est un composé organique volatil présentant une structure chimique très stable (cycle en C_6H_6) qui est à la base de la famille des hydrocarbures aromatiques. Il se trouve naturellement dans le pétrole brut et dans les produits liquides extraits du gaz naturel.

Le benzène est utilisé dans les industries comme solvant ou comme matière première en synthèse organique dans la fabrication de nombreux produits : cyclohexane, phénol, styrène, dérivé nitrés et chlorés, colorants, détergents, ... Dans l'environnement, la principale source de benzène provient du trafic routier (ayant comme origine les gaz d'échappements et les émissions des réservoirs d'essence). Le stockage et la manipulation de carburant, telle que dans les stations essence, constituent une autre source importante.

Le benzène peut être également formé par toutes combustions incomplètes (telles que les foyers domestiques).

➤ Effets sur la santé

L'impact du benzène sur l'homme dans l'air ambiant est un sujet complexe et encore très mal connu. Néanmoins, en atmosphère de travail, le benzène a été reconnu comme substance « toxique ».

Selon la durée d'exposition et la sensibilité de la personne, l'inhalation de benzène peut provoquer des troubles neuropsychiques : irritabilité, diminution des capacités d'attention et de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil. Des troubles digestifs, tels que nausées, vomissements, peuvent être observés. De plus, le benzène est également connu pour avoir des propriétés cancérogènes (leucémie).

Tout comme le benzène, les effets du toluène sur l'homme sont difficiles à mettre en évidence et varient selon la sensibilité de l'individu, la concentration dans l'air et la durée d'exposition. Le toluène pourrait provoquer des troubles neuropsychiques (fatigue, confusion, manque de coordination des gestes, irritabilité...), des troubles digestifs (nausées...), des irritations oculaires, des altérations du système hormonal féminin et des cancers (leucémie).

➤ Comportement du benzène dans l'air ambiant

Dans l'atmosphère, le benzène est très peu réactif. Comme pour les autres composés organiques présents dans l'atmosphère, la réaction avec le radical OH (radical hydroxyle) gouverne la durée de vie du benzène dans l'air ambiant. Pour les concentrations de radicaux OH rencontrées habituellement dans les villes de l'hémisphère Nord, sa durée de vie est de 12 jours.

La concentration de OH est loin d'être constante, elle suit notamment l'intensité du rayonnement U.V. Les teneurs en radicaux OH sont plus fortes en été qu'en hiver. Les concentrations de benzène sont donc plus faibles en été qu'en hiver car il disparaît plus vite. En hiver, de plus, les périodes de forte stabilité atmosphérique qui peuvent être fréquentes et de longue durée, entraînent également une augmentation des concentrations de benzène.

Sources :

INRS 2000

Fiche Toxicologique du benzène N°49-INRS

Dioxyde d'azote

➤ Propriétés physico-chimiques et origine du dioxyde d'azote

Le dioxyde d'azote est l'un des polluants les plus significatifs de la pollution des villes. Les véhicules émettent surtout du monoxyde d'azote qui se transforme, plus ou moins rapidement en fonction des conditions météorologiques, en dioxyde d'azote. Il peut également provenir de processus de combustion ou de procédé de fabrication d'usine. On le retrouve aussi bien à proximité des sources d'émission (rues et routes à fort trafic) qu'à des distances éloignées.

Le dioxyde d'azote peut se former par combinaison de l'oxygène et de l'azote de l'air lors de phénomènes naturels comme les orages ou les éruptions volcaniques. Toutefois, la principale source d'oxydes d'azote comme polluant de l'air provient de la combustion des combustibles fossiles notamment dans les véhicules à moteurs ou les centrales thermiques.

En milieu professionnel, de nombreuses opérations peuvent exposer les travailleurs aux oxydes d'azote comme les soudages au gaz et à l'arc électrique, la déflagration d'explosifs, la fabrication et l'utilisation de l'acide nitrique, les opérations de nitration ou encore la combustion de composés azotés.

Le dioxyde d'azote n'est pas une espèce moléculaire pure à température ambiante ; à une température inférieure à -11 °C il est polymérisé en N_2O_4 (peroxyde d'azote) et la proportion de NO_2 augmente proportionnellement à la température du gaz.

Dans les conditions normales, le dioxyde d'azote est un composé stable. Il ne se décompose qu'à partir de 160°C avec formation de monoxyde d'azote et d'oxygène. Il réagit lentement avec l'eau en donnant de l'acide nitreux et de l'acide nitrique. Les oxydes d'azote contribuent ainsi au phénomène des pluies acides.

Les oxydes d'azote interviennent également dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère contribuant ainsi à la formation de polluants secondaires.

➤ Effets sur la santé

Les oxydes d'azote sont des irritants puissants des muqueuses, leur principale cible est l'appareil respiratoire et en particulier le parenchyme pulmonaire. Les oxydes d'azote pénètrent principalement dans l'organisme par inhalation, mais les passages transcutanés et au cours de contacts oculaires sont possibles.

L'intoxication aiguë se manifeste par une irritation plus ou moins marquée des voies aériennes supérieures, accompagnée de toux, de dyspnée et de nausée, souvent associée à une irritation oculaire avec larmoiement. L'évolution de cette intoxication peut laisser des séquelles respiratoires, voire s'avérer fatale.

L'intoxication chronique, avec des troubles irritatifs oculaires et respiratoires est discutée. Cependant, il semble que l'exposition prolongée à une concentration insuffisante pour induire un œdème pulmonaire puisse favoriser le développement d'emphysème pulmonaire (gonflement et rupture des parois des alvéoles pulmonaires). D'autre part, l'exposition prolongée à de faibles concentrations (0,5 à 3,5 ppm) semble favoriser le développement d'infections pulmonaires. Les sujets asthmatiques ou souffrant d'affections respiratoires chroniques pourraient être plus sensibles à l'effet du NO_2 .

Repères réglementaires

Pour l'interprétation des données, nous disposons de diverses réglementations et recommandations.

Recommandations de l'OMS

Le bureau européen de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré, avec l'aide de spécialistes, des recommandations sur la qualité de l'air.

L'OMS recommande pour le polluant Toluène de ne pas dépasser 1 mg/m^3 sur 30 minutes et $0,26 \text{ mg/m}^3$ pendant une semaine. (Données 1999 - Source : Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva 2000).

Pour le polluant NO_2 , l'OMS recommande de ne pas dépasser une exposition de $200 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ en moyenne sur 1 heure et $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ pendant une année. (Données 1999 - Source : Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva 2000).

Valeurs réglementaires en air ambiant

Les valeurs réglementaires (seuils, objectifs, valeurs limites...) sont définies au niveau européen dans des directives, puis elles sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

L'**objectif de qualité** est un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de 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.

La **valeur limite** est un 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.

(Source : Article L. 221-1 du Code de l'Environnement)

Le **Décret N° 2002-213 du 15 Février 2002**, pour le benzène, fixe une valeur limite à ne pas dépasser de $5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle, valable à compter du 1er janvier 2010. Pour 2007, la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée d'une marge de dépassement de $3 \text{ }\mu\text{g/m}^3$, soit le seuil de $8 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle.

Le décret fixe également un objectif de qualité de $2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle.

Pour le dioxyde d'azote, le **Décret N° 2002-213 du 15 Février 2002** fixe des valeurs limite à ne pas dépasser de :

- **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle**, valable à compter du 1er janvier 2010. Pour 2007, la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée d'une marge de dépassement de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit le seuil de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle ;
- **200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en centile 98** (soit 175 heures de dépassement autorisé par année civile de 365 jours) calculé à partir des valeurs moyennes par heure, applicable jusqu'au 31 décembre 2009 ;
- **200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en centile 99.8** (soit 18 heures de dépassement autorisés par année civile de 365 jours) calculé à partir des valeurs moyennes par heures. Pour 2005 la valeur limite applicable est la valeur de 2010 augmentée d'une marge de dépassement de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit le seuil de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le décret fixe également un objectif de qualité pour le dioxyde d'azote de **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle.

Résultats de mesures

Contexte météorologique

Les données météorologiques sont issues de la station météorologique d'Atmo Nord-Pas de Calais située à Gravelines.

Les données météorologiques ont une influence à la fois sur la dispersion des polluants (vents forts ou faibles, couche nuageuse basse ou haute, pluie ou temps sec) et sur l'importance des rejets, par exemple, le fonctionnement plus ou moins intensif des chauffages domestiques suivant la température ou la saison.

Pour une campagne de mesures de la qualité de l'air ambiant, il est donc important de mettre en parallèle les données météorologiques avec les mesures effectuées sur les polluants. Toutes les données détaillées utilisées pour l'interprétation des données de la campagne sont déclinées en annexes.

 Phase estivale (du 20 Juillet au 31 Août 2006)

Température °C	Moyenne :	18,1 °C
	Minimum :	11,7 °C
	Maximum :	28,2°C
Pression atmosphérique hPa	Moyenne :	1013 hPa
Vent m/s	Vitesse moyenne :	4,4 m/s
	Minimum :	0,1 m/s
	Maximum :	15 m/s
Humidité relative %	Moyenne :	79,1 %

Entre le 20 et le 27 juillet, les températures maximales ont dépassé à plusieurs reprises 25°C au cours d'un épisode anticyclonique qui a marqué tout le mois de juillet. Cette période a été accompagnée de vents de secteur NE et de phénomènes de brises côtières. La chaleur a laissé place à une dégradation orageuse et une chute de la pression atmosphérique qui a amorcé la baisse des températures entre le 27 juillet et le 3 août.

Août a débuté sous un temps maussade ou pluvieux entrecoupé de courts passages de beau temps, avec des températures maximales rarement au dessus de 20°C jusqu'aux alentours du 17. La deuxième quinzaine d'août conserve le même type de temps avec des températures fraîches malgré la remontée des pressions entre le 17 et le 24. Le vent a soufflé de dominante Ouest pendant tout le mois d'août.

La première quinzaine de cette phase estivale a donc connu des conditions défavorables à la dispersion des polluants : on retrouve parmi les facteurs pénalisants les pressions atmosphériques élevées, les pointes de températures et les phénomènes de brises côtières. Par contre, le mois d'août dominé par un temps perturbé est favorable à la dispersion des polluants.



Phase hivernale (11 Janvier au 1^{er} Mars 2007)

Température °C	Moyenne :	7,7 °C
	Minimum :	-2,8 °C
	Maximum :	14,1 °C
Pression atmosphérique hPa	Moyenne :	1012 hPa
Vent m/s	Vitesse moyenne :	7,5 m/s
	Minimum :	0,1 m/s
	Maximum :	26 m/s
Humidité relative %	Moyenne :	84,4 %

La première semaine de mesure, du 11 au 18 janvier, a été marquée par des températures douces pour la période, et un temps perturbé couplé à des vents très forts de secteur ouest les 11 et 18. On a observé ensuite une baisse des températures jusqu'à quelques gelées faibles le 24 janvier, accompagnées d'averses de neige sous des vents de secteur Nord.

Les températures ont remonté jusqu'à l'arrivée le 6 février d'un nouvel épisode de froid, plus court et moins marqué que le précédent. Le vent est resté faible à modéré pendant ce laps de temps.

A partir du 8 février on a observé la reprise d'un temps perturbé avec des vents modérés à assez forts de dominante Ouest. Le reste du moins de février a été pluvieux et très doux.

Cette phase hivernale a été marquée par des conditions météorologiques favorables à la dispersion. Globalement les températures sont restées très douces (en moyenne + 3,3 °C par rapport à la normale de janvier à Boulogne-sur-Mer), et les épisodes de conditions typiquement hivernales susceptibles de faire augmenter les concentrations de polluants ont été quasiment absentes.

Suivi Métrologique

Suivi des blancs

Des échantillonneurs blancs ou témoins, dont la cartouche absorbante n'a pas été ôtée de sa fiole de verre ou dont le bouchon n'a pas été ôté, sont conservés dans le réfrigérateur ou dans la glacière au cours des tournées pose - ramassage. Ce test des blancs permet de vérifier la qualité du conditionnement des échantillons, ainsi que leur tenue à la conservation, et que les cartouches n'ont subi aucune pollution involontaire.

Les valeurs des blancs sont résumées dans les tableaux suivants.

➤ Dioxyde d'azote NO₂

	Été 1	Été 2	Été 3	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3
Absorbance	0.009	0.007	0.006	0.010	0.011	0.010
Concentration équivalente µg/m ³	0.9	0.7	0.7	1.1	1.2	1.2

Les concentrations mesurées sur tous les blancs NO₂ sont très faibles ou proches de zéro, ce qui prouve que les cartouches n'ont subi aucune pollution, tant pendant leur conditionnement que pendant leur transport. On remarque une légère augmentation des valeurs au cours de la phase hivernale.

➤ BTEX

µg/m ³	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	Méta +para Xylène	Orthoxylène
Été 1	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01
Été 2	0.16	0.05	0.01	0.03	0.01
	0.05	0.02	0.01	0.02	0.00
Été 3	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00
	0.04	0.02	0.01	0.02	0.00
Moyenne Été	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01
Hiver 1	0.08	0.04	0.01	0.04	0.04
	0.09	0.05	0.02	0.05	0.03
Hiver 2	0.22	0.10	0.04	0.21	0.05
Hiver 3	0.16	0.07	0.04	0.06	0.12
	0.10	0.07	0.04	0.07	0.14
Moyenne Hiver	0.13	0.07	0.03	0.09	0.08

Pour les BTEX, les concentrations des blancs sont proches de ou égales à zéro. On ne remarque pas de différence significative entre les périodes estivales et hivernales.

Suivi des doublons et répétabilité

➤ Suivi des doublons, répétabilité

Au cours de chaque période de mesure, les échantillonneurs ont été doublés sur plusieurs sites afin d'estimer la répétabilité de la mesure.

Cette répétabilité est évaluée à l'aide de l'écart type standardisé CV% calculé à partir des valeurs de chaque paire de tubes :

$$CV\% = \frac{\text{Ecart - type}}{\text{Moyenne}} \times 100$$

➤ Dioxyde d'azote NO₂

Site	Été 1	Été 2	Été 3	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3	Moyenne
1				2.9%	1.3%	20.5%	2.1%
10	3.3%	8.9%	13.5%	11.8%	2.3%	1.4%	7.9%
17 (DK5)	1.5%	3.4%	18.1%	4.2%	0.0%	5.8%	5.5%
23 (DK7)	5.2%	1.1%	0.0%	0.7%	9.7%	2.1%	3.3%
26 (DK9)	1.0%	32.3%	2.8%	12.4%	1.8%	3.2%	10.1%
Moyenne	2.7%	11.4%	8.6%	6.4%	3.0%	6.6%	6.4%

Pour le dioxyde d'azote on remarque quelques valeurs de CV% supérieures à 10% et témoignant ponctuellement d'écarts sensibles entre les valeurs des doublons. Cependant en moyenne la répétabilité peut être considérée comme satisfaisante, la majorité des valeurs de CV% étant inférieures à 10%.

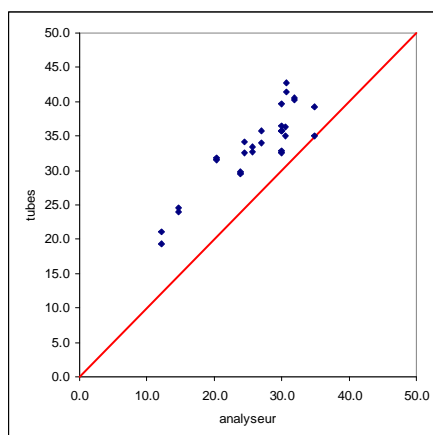
➤ BTEX

		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	M+P-xylène	O-xylène	Xylènes
Été	Ecart type moyen	0.10	0.17	0.05	0.11	0.04	0.15
	CV% moyen	9.5	8.9	9.1	8.2	7.1	7.8
Hiver	Ecart type moyen	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.2
	CV% moyen	10.8	10.0	12.2	11.3	11.3	11.3
Global	Ecart type moyen	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	CV% moyen	10.1	9.4	10.6	9.7	9.2	9.5

Pour les BTEX le nombre de doublon entrant en compte dans la moyenne est plus grand en été qu'en hiver. Malgré tout la répétabilité moyenne est assez satisfaisante puisque la valeur de CV% la plus importante observée sur un doublon pendant la campagne est de 17%. Sur chacun des polluants elle est de l'ordre de 10 % en moyenne sur l'ensemble de la campagne.

Étalonnage et correction des concentrations en NO₂

Au cours de chaque période de mesure, des tubes passifs NO₂ ont été placés en doublons sur la tête de prélèvement de trois stations de mesure du littoral équipées d'analyseurs NOx. Il est apparu que les concentrations calculées d'après les résultats d'analyse (les absorbances) par le fournisseur des échantillonneurs étaient légèrement surestimées par rapport aux concentrations en NO₂ mesurées sur les analyseurs.



Nuage de point des concentrations analyseurs / tubes passifs en µg/m³

Une droite d'étalonnage a donc été établie pour réajuster les concentrations tubes passifs par rapport à celles des analyseurs.

Traditionnellement, la relation entre les valeurs des tubes et celles des analyseurs est estimée à partir de la droite d'étalonnage :

$$A = b_0 + b_1 \cdot C \quad \text{d'où :} \quad C = (A - b_0) / b_1$$

avec : A = absorbance mesurée par tube à diffusion

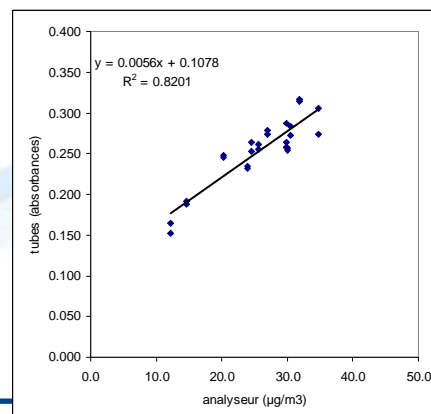
C = concentration mesurée par analyseur automatique

Pour justifier cette approche, il est supposé que l'incertitude des analyseurs est négligeable devant celle des tubes. Cette hypothèse conduit à dire que les mesures des analyseurs ne sont pas entachées d'erreur (lorsqu'on les regarde par rapport à celles des tubes) et donc ne sont pas considérées comme des variables aléatoires. Alors, la seule solution au problème visant à déterminer la relation linéaire entre absorbance et concentration est la droite des moindres carrés ordinaire estimée en assignant aux abscisses les mesures de l'analyseur et aux ordonnées les mesures des tubes, de telle sorte que l'on déterminera une fonction $y=f(x)$.

La droite d'étalonnage ainsi établie pour la campagne est d'équation :

$$y = 0.0056x + 0.1078$$

Statistiques de la régression	
Coefficient de détermination R ²	0.82
Erreur-type	0.0177
Somme du carré des résidus	0.0417
Observations	26



Résultats chiffrés

Dioxyde d'azote NO₂

Concentrations minimales, maximales et moyennes en NO₂, µg/m³

Phase	Été				Hiver			
	1	2	3	Moyenne	1	2	3	Moyenne
Minimum	14.6	3.6	3.9	9.8	25.9	22.5	17.1	23.5
Maximum	38.1	24.7	28.0	28.8	55.0	47.4	46.8	47.8
Moyenne	27.3	15.2	15.4	19.3	38.3	35.0	32.3	35.2

L'amplitude des concentrations dans le domaine d'étude est d'environ 20 à 25 µg/m³ pour les périodes estivales, et de l'ordre de 25 à 30 µg/m³ pour les périodes hivernales. Cette amplitude tient compte des sites de proximité industrielle et automobile présents dans le plan d'échantillonnage. On constate dès lors que des phénomènes de pollution de proximité existent dans notre domaine d'étude.

Conformément à la tendance normale avec ce polluant, les concentrations hivernales sont plus élevées que celles de la phase estivale. Plusieurs facteurs combinés influencent ce phénomène :

- la participation du dioxyde d'azote aux réactions photochimiques estivales ;
- les conditions de stabilité atmosphérique et d'inversion de température plus durables et fréquentes en hiver qui défavorisent la dispersion ;
- les émissions des secteurs résidentiel et tertiaire plus importantes l'hiver du fait de l'usage des chauffages.

Les concentrations moyennes varient en fonction des conditions de dispersion lors de la phase estivale. La première période de mesure (du 20 juillet au 3 août 2006) est la plus défavorable comparée aux deux autres pendant lesquelles une météorologie perturbée a dominé.

La variation des concentrations est moins marquée au cours de la phase hivernale. On retrouve le maximum et la plus forte moyenne au cours de la première période.

Par contre, en hiver, les concentrations sont en moyenne plus élevées au cours de la phase 2 qui, a priori, était la plus favorable à la dispersion en raison du passage d'une perturbation.

BTEX

Concentrations minimales, maximales et moyennes en BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Benzène				Toluène				Ethylbenzène				Xylènes			
	Eté1	Eté2	Eté3	Moy Eté	Eté1	Eté2	Eté3	Moy Eté	Eté1	Eté2	Eté3	Moy Eté	Eté1	Eté2	Eté3	Moy Eté
Min	0.5	0.7	0.7	0.8	1.2	1.0	1.2	1.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.7	1.0	0.9	1.0
Max	4.1	7.0	6.0	5.1	11.3	12.2	9.9	11.0	3.4	3.1	3.5	2.8	13.6	5.3	6.1	6.8
Moy	1.2	1.9	1.5	1.5	2.6	3.6	2.6	3.0	0.8	0.8	0.6	0.7	2.8	2.5	2.3	2.5

	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3	Moy Hiver	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3	Moy Hiver	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3	Moy Hiver	Hiver 1	Hiver 2	Hiver 3	Moy Hiver
	Min	0.4	0.5	0.9	0.6	0.5	0.6	1.4	0.8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	1.0
Max	2.0	3.4	6.6	3.4	5.1	10.8	10.1	8.7	1.6	1.3	1.6	1.2	6.5	5.3	6.1	4.9
Moy	0.9	1.2	2.0	1.4	1.6	2.4	3.4	2.4	0.4	0.4	0.6	0.5	1.5	1.6	2.4	1.9

L'évolution des concentrations moyennes au cours de la phase estivale va dans le sens d'une décroissance au fil des trois périodes à l'exception du benzène et du toluène pour lesquels la moyenne maximale est observée au cours de la période 2 (du 3/08/06 au 10/08/06). Les maxima par période ont été observés en proximité automobile ou industrielle.

Par contre les concentrations moyennes en BTEX tendent à l'augmentation d'une période à l'autre au cours de la phase hivernale.

Le rapport moyen toluène / benzène est de 1.9 en été contre 1,7 en hiver.

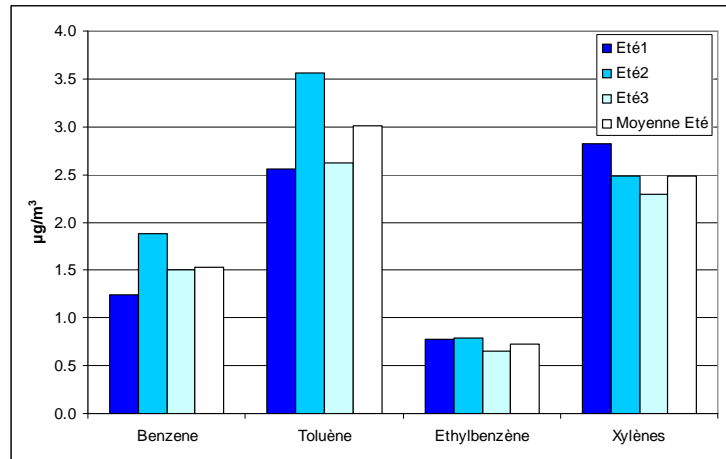
Ces évolutions globales semblent correspondre, d'une part à la dégradation des conditions météorologiques observée en août lors de la phase estivale, et d'autre part à l'arrivée des courts épisodes de froid et surtout de vents moins forts au cours des périodes 2 et 3 hivernales (à partir du 18 janvier).

L'amplitude des concentrations est variable d'une période à l'autre et selon le polluant. On remarque par exemple qu'elle est de 6 à 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène au cours des 2^{ème} et 3^{ème} périodes estivales, et en moyenne plus élevée en été qu'au cours des périodes hivernales.

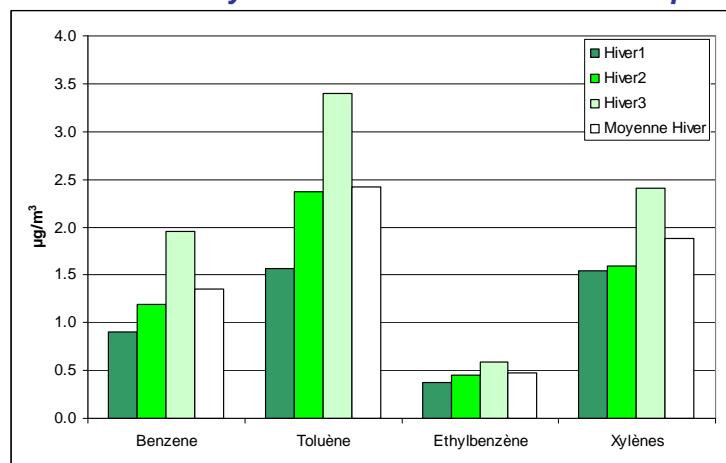
Mais selon les polluants, les valeurs maximales ne se produisent pas aux mêmes périodes, les concentrations moyennes sur 3 périodes tous sites compris sont légèrement plus élevées en été qu'en hiver (écart de 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène, à 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le toluène et les xylènes). Cette tendance à la supériorité des concentrations estivales avait déjà été observée au cours la campagne de 2001. Il existerait donc sur l'agglomération de Dunkerque une double influence des facteurs d'émissions et de dispersion à savoir :

- les facteurs classiques – valables aussi pour des polluants comme le NO_2 , de la photochimie, des conditions de dispersion hivernales et de surémissions liées aux chauffages, tendant à faire accroître les concentrations hivernales
- l'influence des sources industrielles comme les raffineries dont les émissions diffuses pourraient augmenter en été, couplée à une dispersion défavorisée lors d'épisodes de brises côtières.

Evolution des concentrations moyennes en BTEX au cours de la phase estivale, $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Evolution des concentrations moyennes en BTEX au cours de la phase hivernale, $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Cartographie des concentrations en dioxyde d'azote

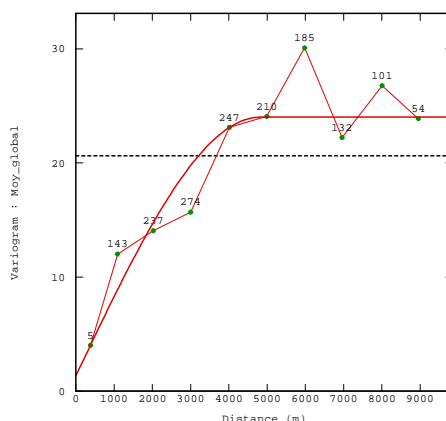
Les algorithmes traditionnels d'interpolation spatiale des données comme la triangulation, ou l'inverse de la distance au carré, utilisent chacun des techniques différentes de pondération. En règle générale, ces algorithmes mettent en œuvre une estimation des valeurs interpolées basée sur une pondération proportionnelle à la distance séparant le nœud de grille de la valeur des points de mesures les plus proches. Ils aboutissent en général à des résultats différents, et surtout, ils ne prennent pas en compte les caractéristiques du comportement spatial naturel du polluant que nous voulons cartographier.

Seul l'algorithme d'interpolation géostatistique du krigeage permet de prendre en compte le comportement spatial du polluant en mettant en œuvre une règle de pondération directement déduite de celui-ci. Le krigeage permet aussi d'intégrer dans l'interpolation des variables auxiliaires qui permettent d'affiner la cartographie.

Dans cette étude, l'analyse des données et la cartographie ont été réalisées à l'aide du logiciel de géostatistique ISATIS.

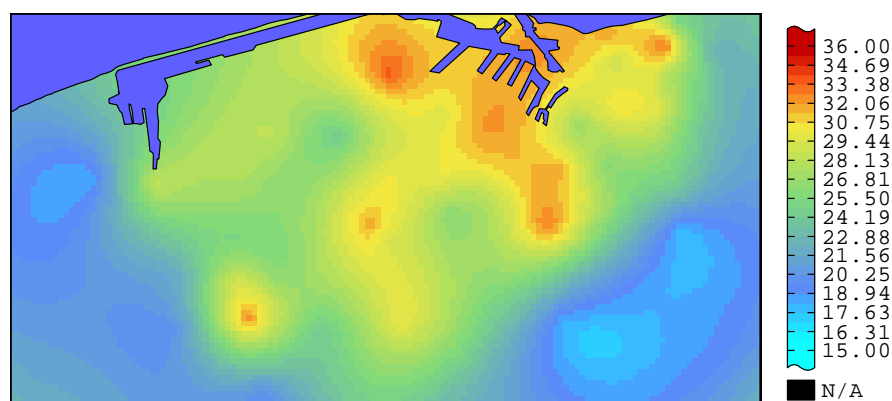
➤ Analyse du comportement spatial du polluant.

L'analyse variographique permet de modéliser le comportement spatial de la donnée à cartographier, ici la concentration moyenne en NO₂ au cours de la campagne. Elle est basée sur la construction du variogramme qui permet de quantifier la variabilité (variance) de la concentration en fonction de la distance qui sépare chaque point d'un couple de points de mesure. On obtient ainsi une représentation de la corrélation spatiale du polluant. En théorie, plus la distance entre deux mesures est élevée, moins ces deux mesures sont corrélées.



Variogramme des concentrations moyennes en NO₂

On peut ainsi estimer que pour le dioxyde d'azote les mesures sont assez bien corrélées dans l'espace jusqu'à une distance de 5 km environ. Au-delà elles marquent un pallier au niveau duquel la variabilité n'est plus liée à la distance. Compte tenu de la taille du domaine d'étude et de l'expérience avec le NO₂, le choix a été fait de modéliser le comportement spatial du polluant jusqu'à une distance de 5 km environ, en ajustant un modèle de type sphérique. Pour tenir compte de la variabilité inhérente à la mesure (Cf. Répétabilité), un effet de pépite correspondant à l'écart type moyen observé sur les doublons a été appliqué.



Concentrations moyennes en NO₂ en µg/m³ (krigeage monovariante)

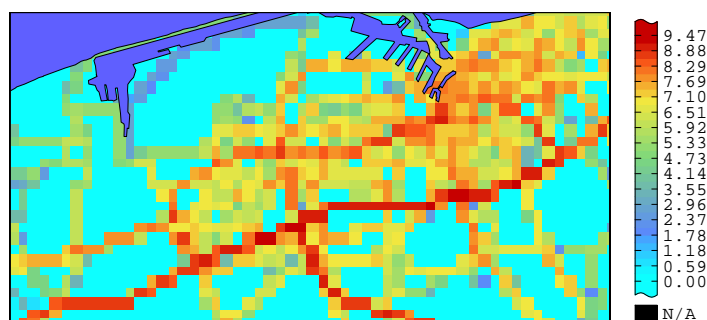
Ce modèle de variogramme est donc pris en compte comme règle de pondération sur la grille de données à estimer. On obtient ainsi une carte présentant un gradient sensible – de l'ordre de 15 µg/m³, entre la périphérie de l'agglomération et le cœur de la zone urbanisée où la pollution par le NO₂ est la plus élevée – de l'ordre de 30 µg/m³ en moyenne, à savoir la zone du Port Est, le nord de Saint-Pol-sur-Mer et une partie du centre de Dunkerque. Cette carte semble prendre en compte des phénomènes de proximité localisés. Ces phénomènes sont liés au trafic automobile (élevations ponctuelles sur Petite-Synthe et Grande-Synthe), et sans doute à la proximité industrielle dans le secteur du Port Est.

➤ Recherche des variables auxiliaires.

La prise en compte de variables auxiliaires dans le krigeage permet d'améliorer la cartographie dans les secteurs du domaine d'étude éloignés ou dépourvus de points de mesure. Elle part du principe qu'il existe des variables qui présentent une certaine relation avec la donnée à cartographier, et qui sont déterminées sur l'ensemble du domaine d'étude.

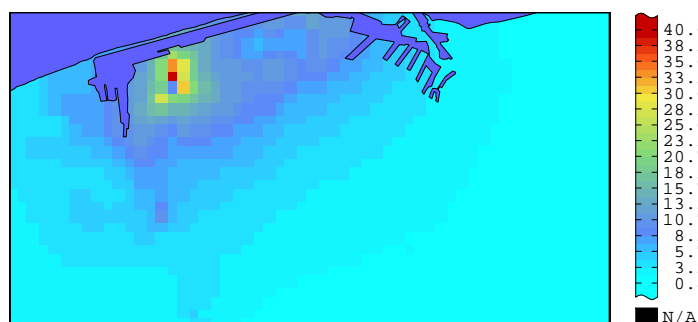
Atmo Nord-Pas de Calais dispose d'un inventaire spatialisé des émissions de polluants sur la région Nord-Pas-de-Calais, qui détermine les quantités d'une vingtaine de polluants émises par l'ensemble des secteurs d'activités. La résolution de base de l'inventaire est communale, mais elle peut être diminuée localement en fonction des données disponibles : c'est le cas sur l'agglomération dunkerquoise où des données fines issues d'un modèle de trafic automobile sont disponibles pour quantifier les émissions provenant de ce secteur.

C'est pourquoi les estimations des rejets de NO_x issues de ces données ont été spatialisées sur une grille d'une maille de 250 m, afin d'être utilisées dans la cartographie. Ces données, exprimées en kg par maille de 62500 m², ont été « transformées » en utilisant le logarithme népérien $\ln(x+1)$ pour obtenir des valeurs d'un ordre de grandeur proche de celui des concentrations en NO₂.



$\ln(x+1)$ des émissions de NO_x du trafic automobile

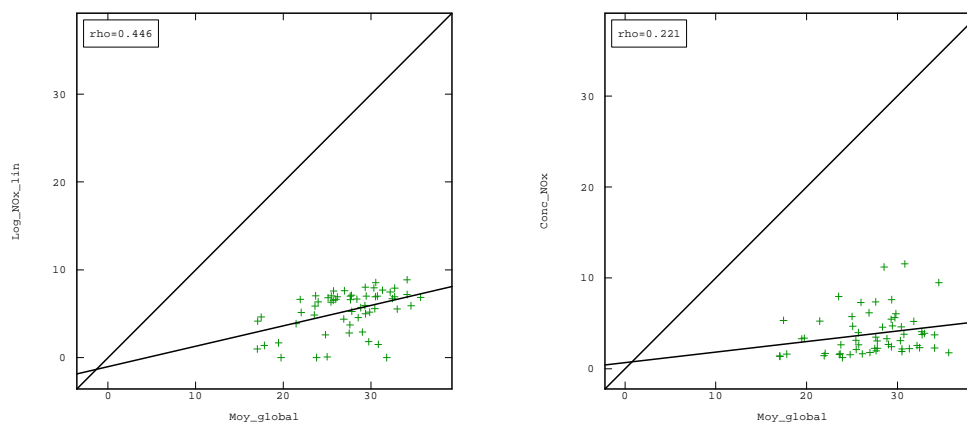
Le secteur d'activité de l'industrie et de la transformation d'énergie a été pris en compte par le biais des résultats d'une étude de dispersion des rejets industriels sur l'agglomération de Dunkerque⁴, elle-même basée sur un inventaire précis des sources. Le résultat est une cartographie d'une résolution de 250 m des concentrations moyennes de NOx.



Concentrations moyennes en NOx issues de la simulation de la dispersion des rejets industriels, en µg/m³

Le secteur résidentiel & tertiaire, responsable d'une partie des émissions d'oxydes d'azote, n'a pas pu être pris en compte en raison d'une résolution insuffisante des données de l'inventaire spatialisé (résolution communale incompatible avec la cartographie fine).

L'analyse des relations entre les deux variables auxiliaires choisies et les concentrations en NO₂ montre qu'il existe des corrélations, plus évidente avec les données d'émissions du trafic ($R^2 = 0.45$) qu'avec les données issues de la dispersion industrielle ($R^2 = 0.22$). La structure de ces corrélations est faiblement linéaire et s'apparente plutôt à une dérive.



Analyse des relations entre les variables auxiliaires et les concentrations en NO₂

Une troisième variable auxiliaire a été calculée à partir des deux premières pour simplifier l'estimation et tenir compte de ces deux composantes de répartition, différentes comme le montrent les représentations cartographiques des variables. Elle a été obtenue à l'aide d'une fonction de régression multilinéaire de type $z = ax + by + c$, où x et y sont les deux variables auxiliaires citées analysées précédemment, et z la nouvelle variable.

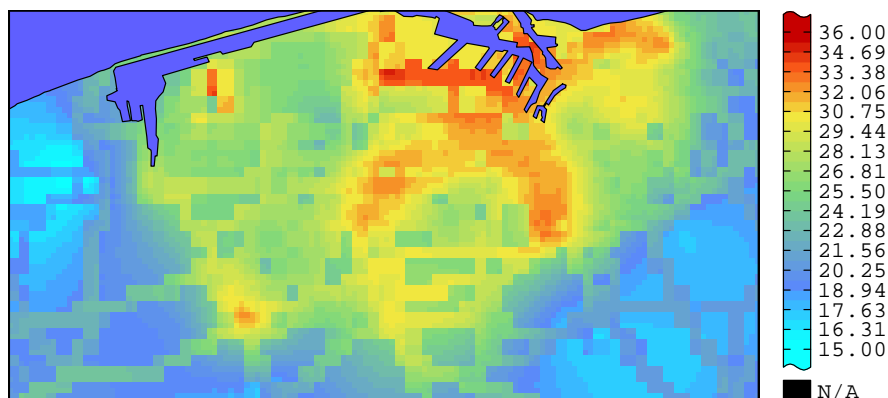
⁴ SPPPI Côte d'Opale, « Etude de l'impact des rejets industriels sur la santé des populations de l'agglomération dunkerquoise », Aria Technologies, 2004.

➤ Estimation et résultats cartographiques.

La technique de krigeage retenue dans le cas présent pour intégrer les variables auxiliaires est celle du krigeage avec dérive externe. Elle s'applique plus particulièrement à notre cas pour les raisons suivantes :

- la variable auxiliaire n'est pas considérée comme une donnée, elle est issue de données « transformées »
- elle n'est pas corrélée de façon linéaire et fait partie de la dérive de la donnée à cartographier,
- elle indique une tendance générale de répartition de la donnée sur le domaine d'étude.

La variable auxiliaire est donc injectée dans l'algorithme du krigeage avec dérive externe.

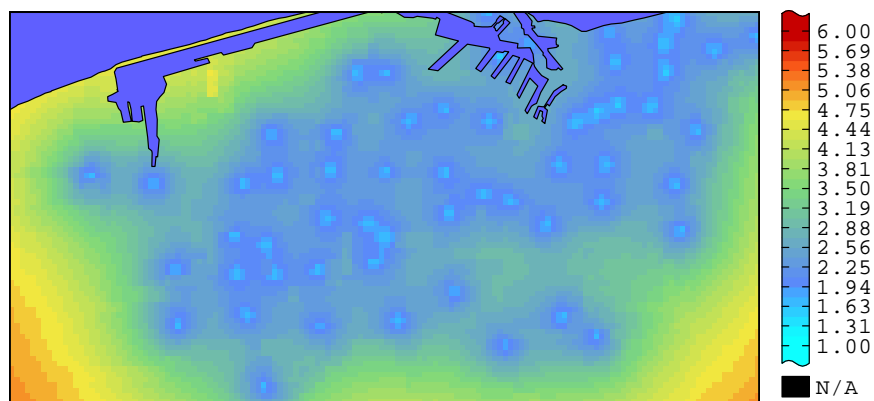


Concentrations moyennes en NO₂ en µg/m³ (krigeage avec dérive externe)

La carte obtenue est une représentation plus réaliste de la répartition des concentrations en NO₂ sur l'agglomération de Dunkerque que celle obtenue à l'issue du krigeage monovariante généralement trop lisse. On constate principalement cette augmentation de la précision à la périphérie du domaine d'étude, souvent estimée en extrapolation, et où cette fois l'influence des axes de circulation majeurs est prise en compte. Au centre du domaine, où les concentrations estimées sont les plus fortes, la présence des axes structurants influence la répartition, avec une tendance au rehaussement des concentrations estimées sur :

- la Chaussée des Darses
- l'axe Coudekerque-Branche – gare de Dunkerque
- les alentours de la RN1 à Saint-Pol-sur-Mer.

Ponctuellement, cette estimation prend en compte des sources industrielles comme celle située dans la partie ouest de l'usine sidérurgique, mais a tendance à sous estimer la mesure réelle, notamment dans le secteur du Port Est où l'influence des axes de circulation tend à être exagérée au détriment d'une répartition ressemblant davantage à l'effet d'un panache moyen de NO₂.



Ecart-type de krigeage

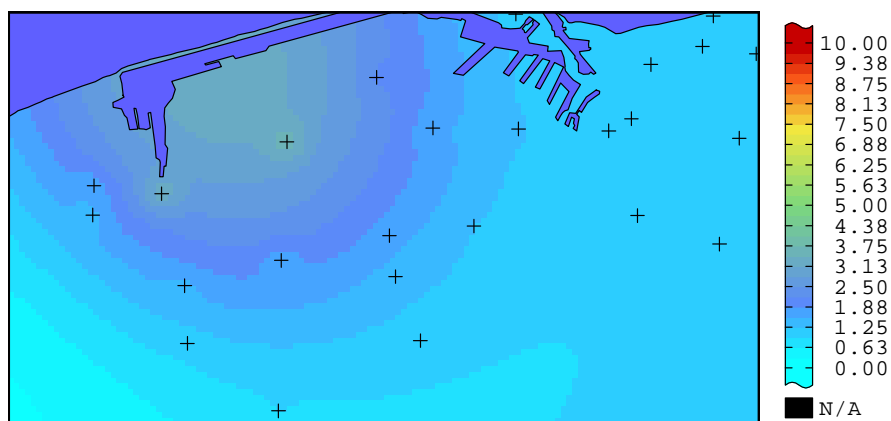
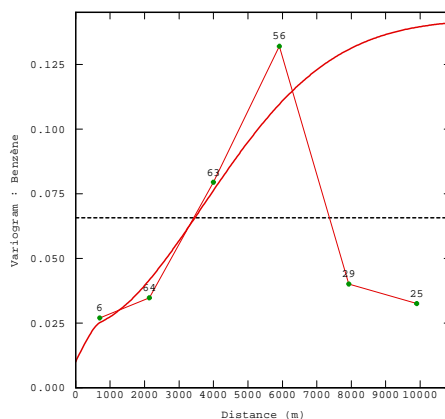
La carte d'écart-type de krigeage permet de quantifier a posteriori l'erreur d'estimation. Elle est établie à l'aide de la variance de l'erreur d'estimation. Un écart-type de krigeage élevé indiquera une valeur interpolée incertaine, comme c'est généralement le cas aux limites du domaine. A contrario l'écart type de krigeage est nul ou proportionnel à l'effet de pépité au niveau des points de mesure.

Cartographie des concentrations en benzène

La technique d'interpolation du krigeage a également été mise en œuvre pour le benzène.

➤ Analyse du comportement spatial du polluant.

L'analyse variographique du benzène est plus aléatoire compte tenu d'un nombre d'échantillons moins important sur le domaine d'étude. Comme pour le NO₂, le polluant semble avoir des données corrélées jusqu'à une distance de 5 km environ. L'hypothèse retenue pour modéliser le comportement spatial est celle d'un modèle à deux structures, une à courte portée, l'autre de type gaussien à portée plus longue.



Concentrations moyennes en benzène en µg/m³ (krigeage monovariante)

En modélisant ce comportement spatial du benzène, on obtient une représentation cartographique fortement lissée. La localisation des valeurs maximale est respectée mais la répartition des concentrations met en relief une zone où, à l'évidence, une forte influence industrielle existe, dans le secteur de l'écluse de Mardyck et du Nord de Fort-Mardyck. Au nord de ce secteur, le champ de concentration n'est qu'une extrapolation puisque qu'aucun autre point de mesure n'existe : les valeurs doivent donc être considérées avec réserve.

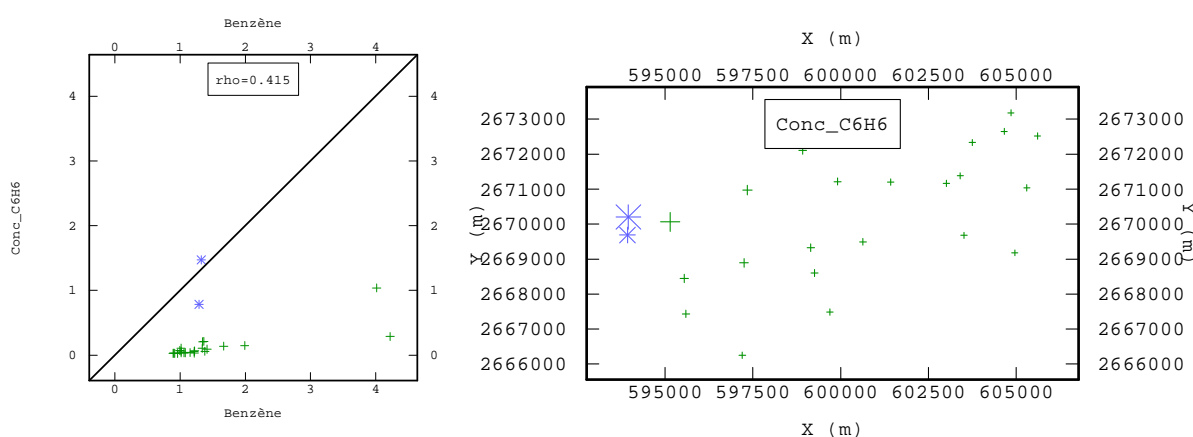
La carte donne en outre des concentrations très homogènes dans la partie Est de l'agglomération, comparées au gradient présent dans la partie Ouest.

➤ Recherche des variables auxiliaires.

Les mêmes sources de données que pour le NO₂ ont été utilisées (inventaire spatialisé des émissions du trafic automobile et simulation de la dispersion des rejets industriels).

Le résultat de l'analyse montre que les concentrations moyennes en benzène sont très peu corrélées avec les données issues de l'inventaire spatialisé des émissions du trafic, mais par contre assez bien corrélées avec les données issues de la simulation de la dispersion du benzène d'origine industriel.

Le coefficient de détermination est égal à 0,41 si on prend en compte tous les points de mesure, et de 0,79 si on masque les deux valeurs proches de la première bissectrice et qui correspondent sur le terrain aux deux sites localisés le plus à l'ouest du domaine sur la commune de Mardyck (points en bleu sur la figure suivante). La structure de la relation est assez linéaire, avec une sous estimation systématique des concentrations par la simulation. Cette relation tend à renforcer l'importance de l'influence industrielle sur l'agglomération dunkerquoise.

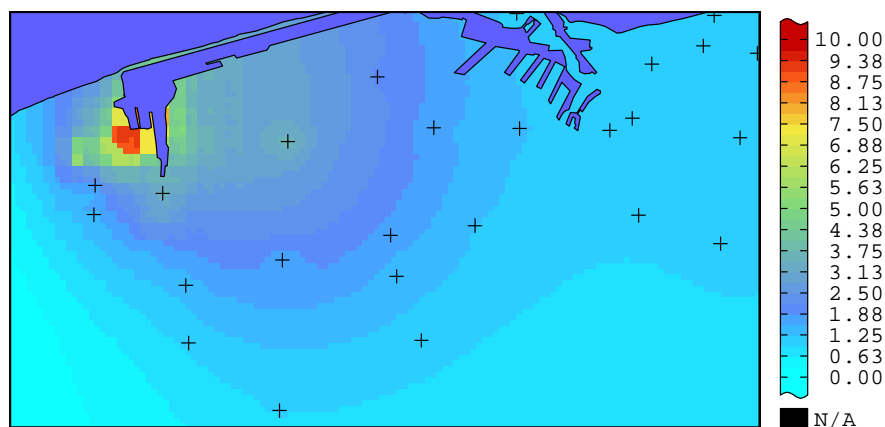


Analyse de la relation entre la dispersion industrielle et les données benzène

On peut donc considérer que le résultat de la simulation de la dispersion du benzène est une variable auxiliaire intéressante dans notre cas d'étude.

➤ Estimation et résultats cartographiques.

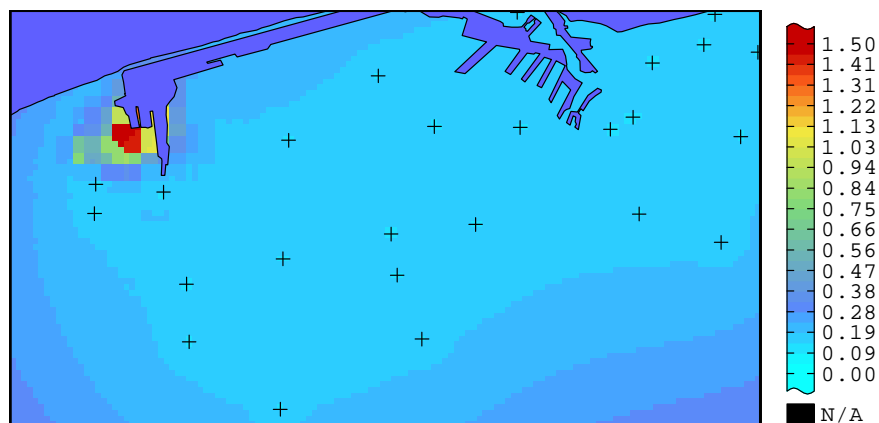
Comme pour le NO₂, la technique d'interpolation retenue est celle du krigeage avec dérive externe, les données issues de l'étude de dispersion ne présentant pas une certitude suffisante, mais servant uniquement de tendance de répartition.



Concentrations moyennes en benzène en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (krigeage avec dérive externe)

On constate sur cette nouvelle représentation cartographique du benzène assez peu d'écart avec la première, hormis une forte augmentation des valeurs au nord de la commune de Mardyck, avec un maximum de l'ordre de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce résultat est lié à la présence de plusieurs sources industrielles dans ce secteur – industrie pétrochimique et surtout un apportement pétrolier, qui ont impliqué des résultats localement élevés lors de l'étude de dispersion.

La carte de l'écart-type de krigeage donne naturellement une erreur d'estimation plus élevée à l'endroit du maximum. A cause du modèle choisi lors de l'analyse variographique, l'écart type est assez lisse entre les points de mesure (effet de pépite et modèle avec faible discontinuité à courte distance).



Ecart-type de krigeage

Malgré le krigeage avec dérive externe, le résultat de l'estimation de la répartition des concentrations en benzène est toujours entaché d'une incertitude forte dans le secteur localisé au Nord-Ouest du domaine d'étude, influencé par la proximité industrielle. Par contre on peut toujours accorder une confiance plus élevée aux valeurs cartographiées entre les points de mesure et par conséquent au niveau de l'espace urbanisé de Mardyck bien qu'il soit localisé non loin du maximum sur la carte.

Cette application du krigeage est réalisée sur un domaine d'étude où l'hypothèse de stationnarité n'est pas respectée, c'est-à-dire que la variable cartographiée (le benzène) a dans notre cas des caractéristiques qui dépendent fortement de sa position géographique. En effet à l'Ouest du domaine, la concentration varie depuis une source d'émission ponctuelle et massive, alors qu'à l'Est, elle serait liée à des sources de moindre importance, plus diffuses et plus nombreuses. Ceci expliquerait notamment l'aspect lissé de la carte au niveau des zones urbanisées car le comportement spatial de proximité industrielle domine un éventuel comportement « urbain » du polluant.

Confrontation à la réglementation

➤ Dioxyde d'azote

En moyenne sur toute la durée de l'étude, aucun site ne dépasse ni la valeur limite pour le dioxyde d'azote ($46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle en 2007), ni l'objectif de qualité ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). La valeur moyenne maximale est de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et a été mesurée sur le site 61, situé avenue de la Mer à Dunkerque. Ce site de proximité automobile fait partie de ceux ajoutés au plan d'échantillonnage pour les besoins de la Maison de l'Environnement de Dunkerque.

➤ Benzène

En moyenne sur toute la durée de l'étude, trois sites de mesure atteignent ou dépassent l'objectif de qualité pour le benzène ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) :

- Le site 16, parking de l'entrée sud d'ARCELOR Dunkerque avec $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Le site 3, écluse de Mardyck avec $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Le site 11, rue Nationale à Fort-Mardyck avec $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Par contre aucun site ne dépasse la valeur limite pour la protection de la santé ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle en 2007).

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour les autres composés de la famille des BTEX.

Conclusion

Les objectifs principaux de cette étude étaient d'une part de réaliser une cartographie de la pollution de fond par le dioxyde d'azote sur l'agglomération de Dunkerque, et d'autre part de mettre à jour l'évaluation de la pollution par les BTEX. De plus, à la demande de la Maison de l'Environnement de Dunkerque, 4 sites de mesure ont été ajoutés au plan d'échantillonnage initial afin d'estimer l'impact du trafic sur la qualité de l'air au niveau des entrées de 4 écoles sélectionnées dans l'agglomération.

La campagne de mesure s'est déroulée en 2 phases : une phase estivale du 20 juillet 2006 au 31 août 2006 et une phase hivernale du 11 janvier 2007 au 1^{er} mars 2007.

La phase estivale a connu des conditions défavorables à la dispersion des polluants dans sa première quinzaine (pressions atmosphériques élevées, phénomènes de brises côtières). Par contre, le reste de la phase estivale dominé par un temps perturbé est favorable à la dispersion. La phase hivernale a été marquée par des conditions météorologiques favorables à la dispersion : températures douces, vents temporairement forts, absence d'épisodes hivernaux typiques.

Les concentrations moyennes en NO₂ sont plus élevées en hiver qu'en été, comme c'est généralement le cas pour ce polluant. La variation de la moyenne d'une période de mesure à l'autre a été plus franche en été qu'en hiver à cause des conditions de dispersion plus hétérogènes.

Les concentrations moyennes en BTEX confirment une tendance observée lors de l'évaluation de 2001, à savoir des concentrations moyennes légèrement plus élevées en été qu'en hiver.

Les facteurs qui influencent ces évolutions contraires sont de deux types :

- les facteurs généraux de la photochimie, des conditions de dispersion hivernales et de surémissions liées aux chauffages, tendant à faire accroître les concentrations hivernales, valables surtout pour le NO₂
- l'influence des sources industrielles comme les raffineries dont les émissions diffuses pourraient augmenter en été, couplée à une dispersion défavorisée lors d'épisodes de brises côtières, valables pour les BTEX.

La représentation cartographique de la répartition moyenne du NO₂ et du benzène a été obtenue à l'aide de l'algorithme d'interpolation du krigeage avec dérive externe qui permet d'intégrer des variables auxiliaires comme les émissions spatialisés ou les résultats d'une étude de dispersion.

La répartition moyenne du NO₂ met en évidence l'influence des grands axes de circulation avec valeurs maximales, supérieures à 30 µg/m³, localisées au niveau de la Chaussée des Darses, de l'axe Coudekerque-Branche - gare de Dunkerque, les alentours de la RN1 à Saint-Pol-sur-Mer. Une influence de proximité industrielle est également sensible au niveau de la zone industrialo-portuaire.

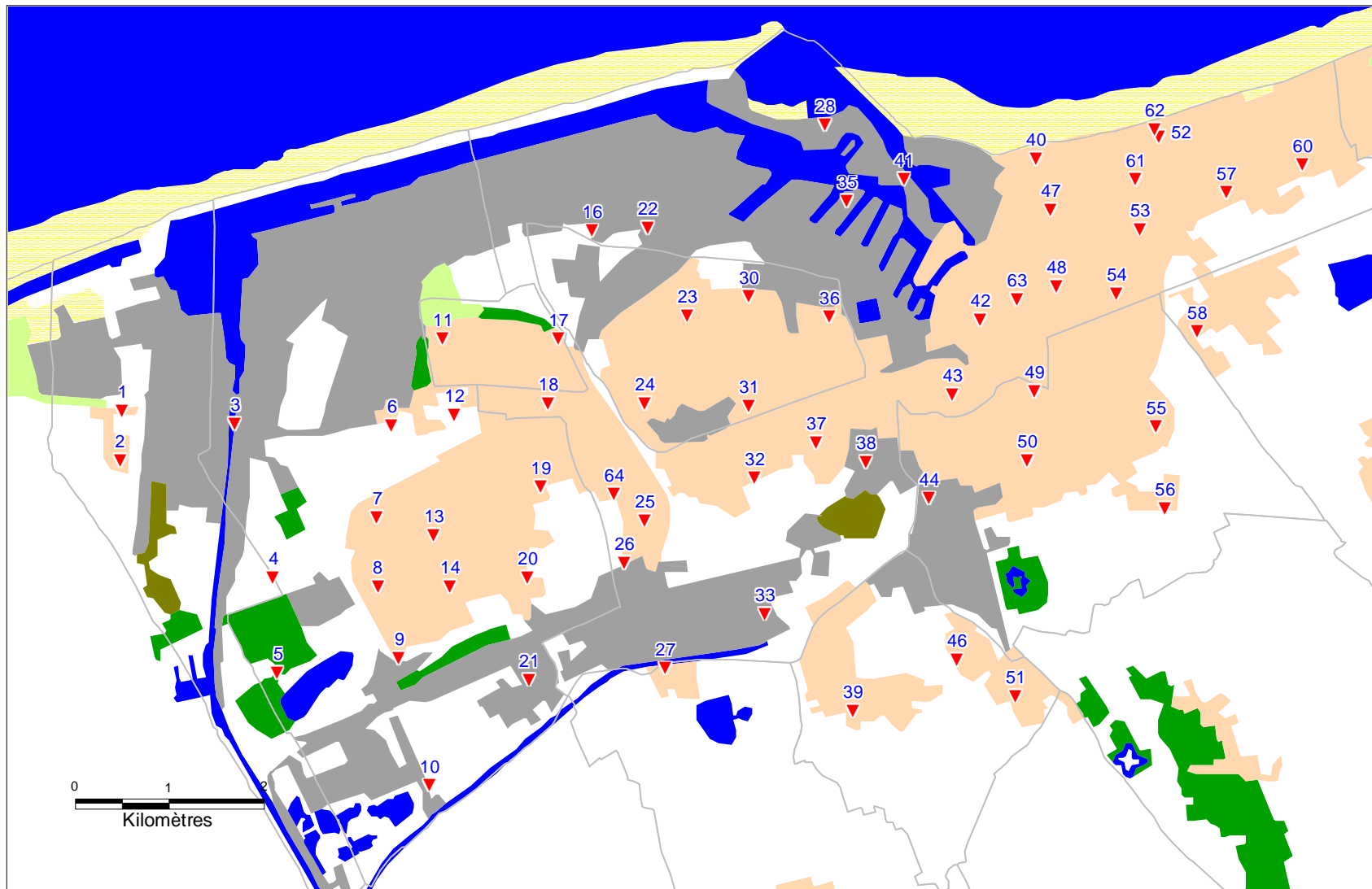
Pour le benzène, la représentation cartographique met en évidence une zone où une forte influence industrielle existe, dans le secteur de l'écluse de Mardyck et du Nord de Fort-Mardyck (de 2 à 4 µg/m³ en moyenne). Au nord de ce secteur, les concentrations estimées lors de l'interpolation atteignent 10 µg/m³, mais avec une incertitude élevée.

Aucun dépassement de la valeur limite ni de l'objectif de qualité ne sont à signaler pour le NO₂. Par contre, sur trois sites la moyenne dépasse l'objectif de qualité pour le benzène (2 µg/m³).

Le dioxyde d'azote et les BTEX font l'objet d'une surveillance continue par station fixe dans l'agglomération de Dunkerque, sur plusieurs sites urbains, périurbains ou de proximité automobile pour le NO₂, et sur le site urbain de Saint-Pol-sur-Mer pour les BTEX. Bien que la méthode utilisée lors de cette campagne n'a pas été retenue comme méthode de référence au niveau de la législation européenne, il est envisageable de l'utiliser comme méthode indicative, en combinaison avec les mesures en station fixe, sur un pas de temps de 5 ans pour mener un complément d'évaluation sur l'agglomération de Dunkerque, notamment dans les secteurs influencés par les rejets d'origine industrielle.

Annexes

Plan d'échantillonnage de la zone d'étude



Copyright BDCarto® - ©IGN 2003 – Reproduction interdite

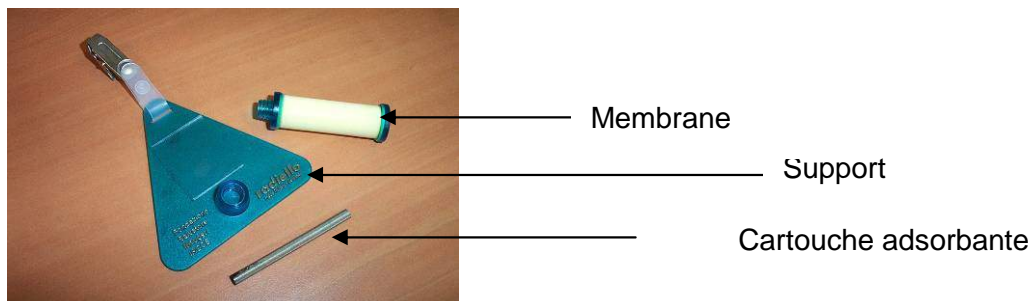
Liste des sites de mesure

Site	NO2	BTX	Descriptif du site
1	X	X	Rue des Dunes poteau d'éclairage
2	X	X	Station DKC
3	X	X	Ecluse de Mardyck, poteau d'éclairage au bord du canal
4	X	X	Rue Quenez, Ferme des Jésuites poteau bois
5	X	X	Base du Puythouck, face au hangar
6	X		D1, poteau éclairage béton
7	X		Rue Mozart, face 28 poteau d'éclairage
8	X		Parking de la polyclinique, poteau écl. bleu
9	X		Impasse Garnaersraete
10	X	X	Route de Spycker, poteau bois face tour de refroidissement
11	X	X	Rue nationale, poteau métal rouillé
12	X		Rue du Comte Jean, poteau béton /haie
13	X	X	Rue Victor Hugo, école, poteau Inox
14	X		Rue Jules Valles N°40
16	X	X	Parking entrée sud de SOLLAC
17	X		Station DK5
18	X		Rue du Triangle 44-46
19	X		Rue le la Provence, petit parking
20	X		Rue de Rome, poteau écl. métal
21	X		Cité des Deux Synthe, Poteau métal au fond
22	X		Route de l'ouvrage Ouest, poteau métal à l'entrée de la résidence
23	X	X	Station DK7
24	X		Rue des Colombes n°20
25	X		Rue Bichat n°12
26	X	X	Station DK9
27	X	X	Impasse Markey n°27
28	X	X	Ecluse Watier
30	X		Rue Jean Honoré Fragonard poteau écl. prox. espace vert
31	X		Avenue de Saint-Expery n° 19
32	X	X	Rue des Paquerettes
33	X		Rue du Meunynck face CGE distribution poteau béton
35	X		Darse n°4 n°5 près des entrepôts blancs
36	X	X	Rue Trystram face ALDI
37	X		Rue du 18 juin 40 n°19
38	X		Rue de l'Abattoir parking
39	X		Rue Mercure n°13
40	X		Avenue About face au Kursaal
41	X		Terreplein des Monitors, face Flandre Analyse
42	X	X	Place Castagnier n°7
43	X		rue de la Verrerie n°18
44	X		rue du Gaz
46	X		rue Anatole France n°40
47	X	X	Rue du Jaguar Résidence Floride n°4
48	X		Avenue Albert Mahieu n°64
49	X		Rue Mozart n°11
50	X	X	Rue des Pinsons
51	X		Rue Valentin Couturier n°17
52	X		Rue de Tourcoing Ecole
53	X		Square Paul Doumer (derrière mairie de Rosendael)
54	X		(Lotissement récent)
55	X		rue Maurice Vlamincq
56	X	X	rue Abel Gance n°29
57	X	X	Rue Charles Perrault n°95
58	X	X	Rue Paul Claudel face arrêt de bus CAT
60	X		Rue du Marechal de Latre de Tassigny, angle rue de Verdun
61	X	X	Avenue de la Mer, face école Kleber
62	X	X	Boulevard du 8 mai 45, poteau écl béton
63	X	X	Rue Saint-Gilles, poteau en bois face au n°7
64	X	X	Rue de l'Egalité, face au 32-34 poteau bleu

Technique utilisée

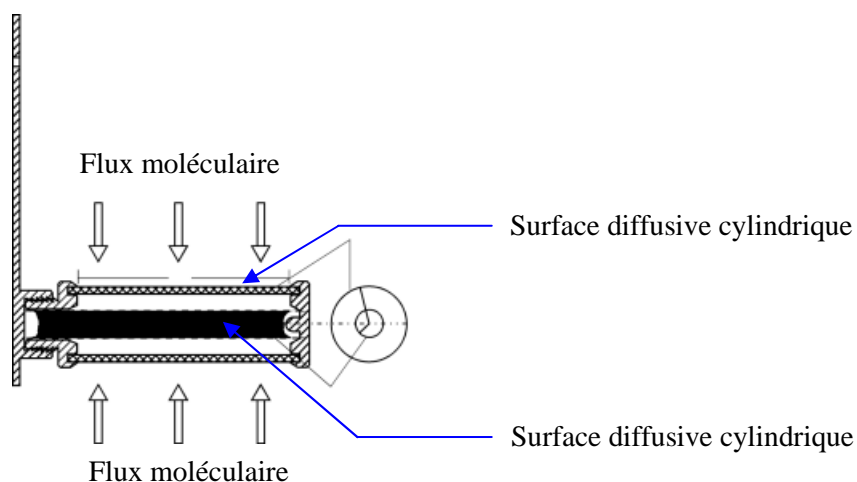
Les tubes à diffusion (appelés aussi « tubes passifs ») utilisés pour la mesure du benzène proviennent de la société RADIELLO (Italie).

Les tubes RADIELLO se composent d'un corps diffusif (membrane), d'une cartouche adsorbante et d'un support.



L'échantillonneur passif est un petit tube d'environ 6,4 cm de long et de 1,6 cm de diamètre. La membrane, constituée de polyéthylène, a une épaisseur de 5 mm et une porosité de 10 μm . L'adsorbant utilisé est un charbon actif « *carbograph 4* » de surface adsorbante 210 m^2/g .

Le principe de la mesure est basé sur la diffusion moléculaire du benzène. L'air circule à travers une membrane, contenant la cartouche adsorbante qui piège le benzène.



Principe de l'analyse

Il est basé sur une désorption thermique (chauffage à environ 300°C). L'analyse de la cartouche est réalisée en laboratoire (par la Fondazione Salvatore Maugeri) par chromatographie en phase gazeuse (CPG) associée à un détecteur à ionisation de flammes.

Les concentrations de benzène des cartouches sont calculées à partir de la Loi de Fick pour une diffusion radiale. En effet, une espèce moléculaire de concentration **C** diffuse à travers une surface **S** sur une distance **l** dans un temps **t** selon la relation suivante :

$$\frac{dm}{dt} = DS \frac{dC}{dl} \quad \text{EQUATION N°1}$$

Avec **m** : masse de gaz adsorbé par la cartouche
S : surface de la membrane diffusante
D : coefficient de diffusion du BTX recherché

Etant donné que les tubes Radiello présentent une surface diffusante cylindrique, l'équation 1 devient :

$$\frac{dm}{dt} = D 2 \pi r h \frac{dC}{dl} \quad \text{EQUATION N°2}$$

Ainsi, l'intégration de l'équation 2 donne la relation suivante :

$$\frac{M}{t} = D \frac{2 \pi h}{\ln(r/r_a)} C = D k C \quad \text{EQUATION N°3}$$

avec **r** : rayon de la membrane diffusante
r_a : rayon de la cartouche adsorbante
h : longueur de la membrane diffusante
 ainsi **k** est une constante propre à l'échantillonneur passif
 Si nous posons **Dk=Q**, alors l'équation 3 devient :

$$C = \frac{m}{t Q} \times 1.000.000 \quad \text{EQUATION N°4}$$

avec **C** : concentration de benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
m : masse de benzène trouvée dans la cartouche (μg)
t : temps d'exposition de la cartouche (min)
 ainsi **Q** : débit de diffusion (sampling rate) (mL/min) s'exprime selon la formule suivante :

$$Q = D \frac{2 \pi h}{\ln(r/r_a)} \quad \text{EQUATION N°5}$$

➤ Facteurs influençant la mesure

a. - Influence de la vitesse du vent

Le taux d'adsorption ne varie pas pour des vitesses de vent comprises entre 0,01m/s et 10m/s. Dans les conditions extérieures, la limite inférieure de 0,01m/s est toujours dépassée. Par contre, les vitesses de vent peuvent être parfois supérieures à 10m/s et modifier le parcours de diffusion du benzène. Des turbulences peuvent, en effet, perturber l'échantillonnage. La mesure du vent pendant la campagne d'échantillonnage est donc un paramètre complémentaire pour l'interprétation des résultats.

b. - Influence de la température

La température est également un paramètre à contrôler lors de l'échantillonnage. Elle a un effet sur la quantité de benzène collectée.

Pour tenir compte de l'effet de la température, une correction du débit d'échantillonnage est réalisée :

$$Q_T = Q_{25} * [(273 + T) / 298]^{1,5}$$

Q_T (exprimé en $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) est le débit réel d'échantillonnage à la température T (°C) enregistrée pendant la campagne.

Q_{25} (exprimé en $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) est le débit d'échantillonnage théorique à 25 °C (fixé par Radiello d'après des mesures en laboratoire)

A 25°C,

$$Q_{\text{benzène}} = 23,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{\text{toluène}} = 22,2 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{\text{éthylbenzène}} = 18,3 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

A partir du débit d'échantillonnage corrigé, la quantité de benzène collectée est déterminée.

Installation des tubes à diffusion sur site

Sur le terrain, le tube est fixé horizontalement dans une boîte de protection (protection des intempéries), elle-même fixée sur du mobilier urbain (poteaux, lampadaires,...) à environ 3m du sol.

Le choix des sites s'appuie sur les recommandations élaborées dans le guide « Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote », à partir de l'expérience des réseaux ayant déjà utilisé les tubes à diffusion passive.

Le positionnement des tubes sur le terrain doit répondre à des critères précis afin de ne pas fausser les mesures :



- le tube est placé sur du mobilier urbain (poteau, pylône, lampadaire) à une hauteur comprise entre 3 et 4 mètres du sol, pour des raisons de vandalisme.
- le site doit être éloigné des principales voies de circulation selon les critères du guide méthodologique ⁽¹⁾

Débit (TMJA) ⁽²⁾ en véhicules/jour	Distance minimale à la voie en mètres
< 1 000	/
1 000 à 3 000	10
3 000 à 6 000	20
6 000 à 15 000	30
15 000 à 40 000	40
40 000 à 70 000	100
> 70 000	250

Critères d'éloignement des voies, suivant la densité de circulation

- le tube est placé de façon verticale (NO₂) ou horizontale (BTEX), parallèlement à l'axe du poteau
 - les échantillonneurs doivent être tournés vers la source (voie de circulation pour les sites trafic, source fixe pour les sites industriels), en évitant les situations de forte chaleur (notamment les expositions au Sud).
 - le tube doit être installé à 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 270° pour un toit.
- Les échantillonneurs ont été installés dans des boîtes de protection afin de limiter l'influence du vent sur le débit d'échantillonnage.

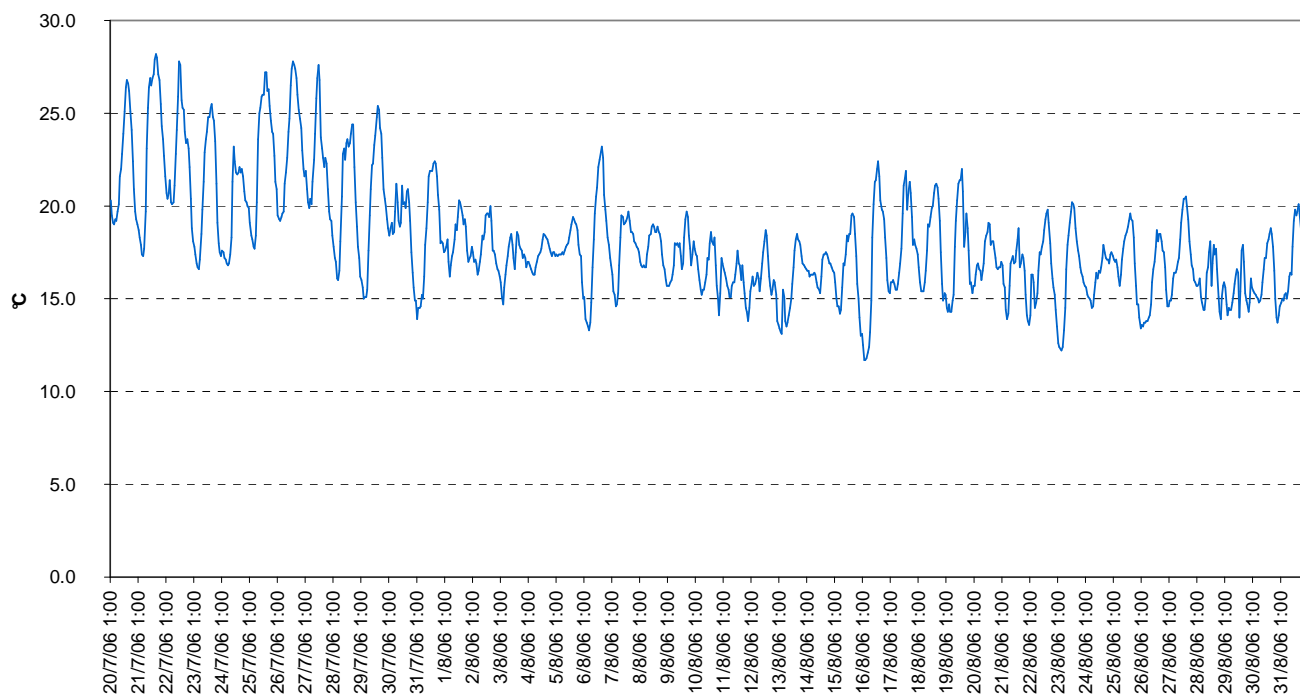
(1) : « Classification et critères d'implantation de stations de surveillance de la qualité de l'air »
Réseau ATMO - ADEME Editions, Paris, 2002

(2) : Trafic moyen journalier annuel

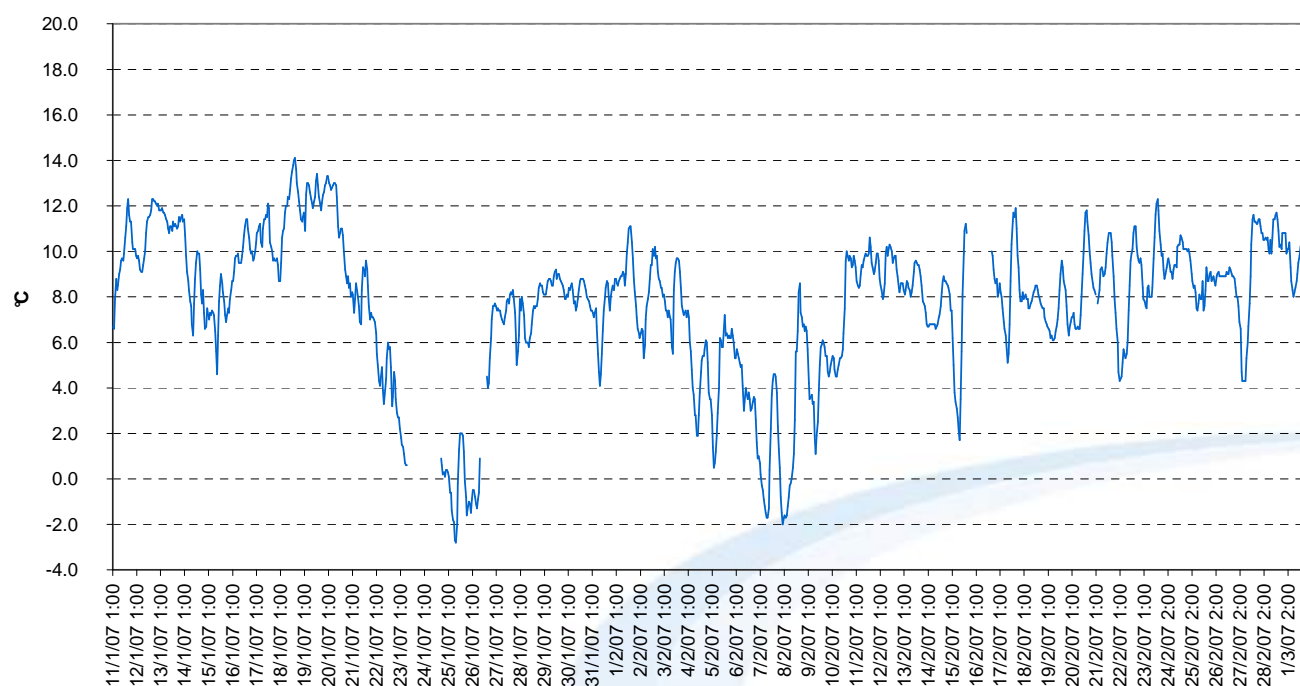
Météorologie

Station de Gravelines

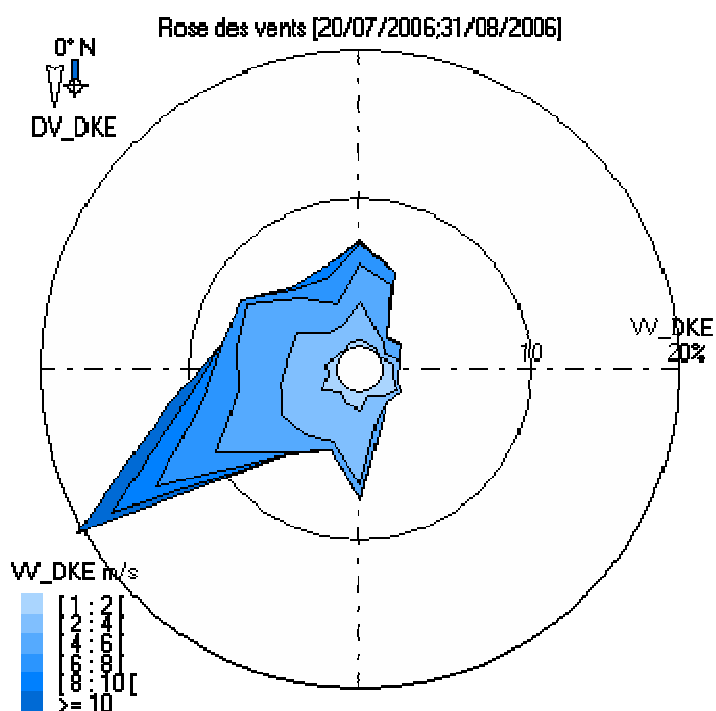
Température °C phase estivale



Température °C phase hivernale



Rose des vents - phase estivale Station de Gravelines



Rose des vents - phase hivernale Station de Gravelines

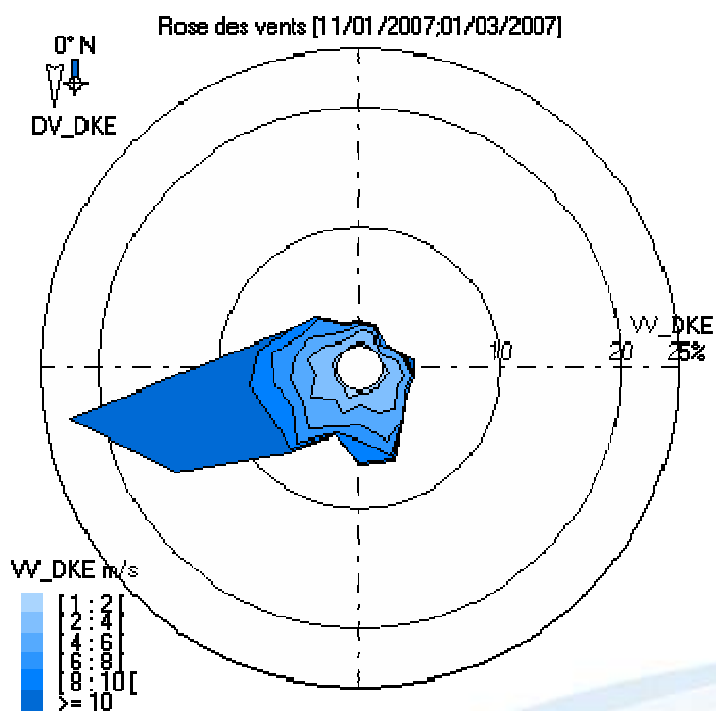


Tableau de données du dioxyde d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Site	Eté1	Eté2	Eté3	Moyenne Eté	Hiver1	Hiver2	Hiver3	Moyenne Hiver	Moyenne globale
1	20	7	4	10	26	23	26	25	17
2	20	5		12					
3	37	21	17	25	37	32	32	34	29
4	28	11	9	16	29	27	24	27	21
5	21	10	10	14	26	27	25	26	20
6	30	24	9	21	42	32	29	34	28
7	24	16	11	17	30	39	30	33	25
8	28	18	18	22	44	33	35	37	29
9	35	23	28	29	37	36	45	39	34
10	19	16	7	14	32	26	18	25	19
11	37	13	16	22	37	35	34	35	29
12	28	16	12	18	39	31	30	34	26
13	21	20	12	18	37	31	29	32	25
14		17	16	17	34	32	30	32	26
16	36	19	20	25	45	35	29	36	31
17	25	15	9	16	30	31	32	31	24
18	28	21	16	22	43				27
19	25	22	15	21	40	35	33	36	28
20	26	15	20	20	35	34	35	35	28
21	23	19	12	18	37	30	23	30	24
22	36	18	24	26	50	40	38	43	35
23	27	22		24	37	34	30	33	30
24	26	20	16	21	47	40	34	40	30
25	28	22	20	23	32	37	35	34	29
26	26	16	27	23	32	38	43	38	30
27	30	21	22	24	42	34	34	37	31
28	34	10	20	21	40	38	36	38	30
30	26	21	17	21	38	38	36	37	29
31	30	21	21	24	41	40	32	38	31
32	21	16	15	18	35	34	31	33	25
33	31	22	15	22	37	34	28	33	28
35	38	25	15	26	39	40	34	38	32
36	29	23	21	24	41	43	39	41	33
37	24	19	17	20	40	37	29	35	28
38	26	18	20	21	43	35	33	37	29
39	22	16	12	17	29	29	25	28	22
40	31	8	16	18	52	42	45	46	32
41	29	12	15	18	55	46	41	47	33
42	27	15	19	21	41				26
43	29	19	23	23	45	41	37	41	32
44	33	19	24	25	45	41	43	43	34
46	15	9	7	11	27	26	22	25	18
47	28	8	13	16	38	42	38	39	28
48	32	18	20	23	46	37	34	39	31
49	23	11	14	16	36	37	31	35	25
50	25	12	17	18	44	34	34	37	28
51	15	8	7	10	27	25	21	24	17
52	28	4	10	14	36	34	30	33	24
53	29	9	13	17	43	42		42	27
54	28	9		18	46	35	35	39	30
55	24	11	15	16	36	33	31	33	25
56	18	7	6	11	28	25	17	23	17
57	22	4	7	11	36	35	28	33	22
58	24	8	12	15	36	33	28	33	24
60	31	6	12	16	34	33	29	32	24
61	34	18	18	23	49	47	47	48	36
62	29	9	14	17	35	38	33	35	26
63	29	12	19	20	40	39	38	39	29
64	32	23	24	26	42	39	36	39	33

Tableaux de données des BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Phase estivale

Site	Benzène				Toluène				Ethylbenzène				Xylènes			
	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
1		1.1		1.1		3.6		3.6		0.7		0.7		1.3		1.3
2	0.5	2.8	1.7	1.7	1.2	8.7	3.8	4.6	0.3	3.1	1.1	1.5	0.7	2.7	1.9	1.8
3	4.1	5.7	5.2	5.0	11.3	11.7	9.9	11.0	1.9	2.9	3.5	2.8	6.5	4.7	6.1	5.8
4	0.6	2.3	2.3	1.7	1.2	3.1	3.4	2.5	0.3	0.8	0.6	0.6	0.7	1.4	2.1	1.4
5	0.5	1.9	0.8	1.1	1.9	2.9	1.6	2.1	0.3	0.5	0.3	0.4	1.0	1.6	1.0	1.2
10	2.0	1.3	0.9	1.4	1.2	1.4	1.2	1.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.1	1.0	0.9	1.0
11	2.2	7.0	6.0	5.1	2.3	4.1	3.3	3.2	3.4	0.6	0.6	1.6	13.6	3.4	3.5	6.8
13	0.9	2.6	1.6	1.7	2.4	3.2	2.4	2.7	0.8	1.2	0.6	0.9	2.0	3.6	1.8	2.5
16	2.3	1.5	1.4	1.7	1.8	1.3	1.3	1.5	0.6	0.3	0.3	0.4	2.4	1.1	1.3	1.6
23	1.1	1.5	1.5	1.3	2.1	2.6	2.5	2.4	0.7	0.6	0.6	0.6	2.6	2.7	2.5	2.6
26	0.8	1.7	1.4	1.3	1.3	2.0	1.8	1.7	0.5	0.5	0.3	0.4	1.5	1.7	1.4	1.5
27	0.9	1.3	1.1	1.1	2.5	2.4	1.9	2.3	0.6	0.6	0.3	0.5	2.3	2.1	1.4	1.9
28	1.1	1.0	0.8	1.0	1.5	1.0	1.3	1.2	0.7	0.6	0.9	0.7	2.6	3.1	4.5	3.4
32	1.0	1.9	1.0	1.3	1.6	2.2	2.1	2.0	0.4	0.5	0.5	0.5	1.3	2.2	2.0	1.8
36	1.3	1.5	1.3	1.4	2.4	3.8	2.8	3.0	0.7	1.1	0.7	0.8	2.8	5.3	3.4	3.8
42	1.2	1.3	0.8	1.1	2.5	2.7	2.3	2.5	0.6	0.7	0.5	0.6	2.4	3.4	2.4	2.8
47	1.1	0.9	0.7	0.9	3.3	2.3	2.7	2.8	0.8	0.4	0.6	0.6	3.2	1.9	2.8	2.6
50	1.3	1.2	0.9	1.1	5.4	2.1	2.1	3.2	1.1	0.6	0.5	0.7	5.0	2.7	2.0	3.2
56	0.6	1.1	0.7	0.8	1.3	2.3	1.6	1.8	0.4	0.5	0.3	0.4	1.2	2.1	1.3	1.5
57	0.9	0.9	0.7	0.8	2.3	2.3	1.9	2.1	0.6	0.5	0.4	0.5	2.2	2.1	1.6	2.0
58	0.7	1.0	0.8	0.8	2.2	3.1	1.9	2.4	0.6	0.6	0.3	0.5	2.1	2.6	1.5	2.1
61		1.4	1.1	1.2		12.2	3.4	7.8		0.8	0.6	0.7		3.6	2.8	3.2
62		0.7	0.8	0.8		2.8	2.2	2.5		0.2	0.3	0.3		1.0	1.5	1.3
63		0.9	1.0	1.0		2.0	2.7	2.4		0.5	0.7	0.6		2.1	3.0	2.6
64	1.2	2.2	1.9	1.8	2.0	3.0	2.9	2.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.9	2.7	2.3	2.3

Phase hivernale

Site	Benzène				Toluène				Ethylbenzène				Xylènes			
	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
1	0.6	2.0	1.4	1.3	0.6	4.8	8.5	4.6	0.1	0.8	1.3	0.7	0.4	2.5	2.6	1.8
2	0.4	1.4	1.0	0.9	0.5	4.6	3.7	2.9	0.1	0.9	0.6	0.5	0.3	2.1	1.6	1.3
3	2.0	3.4	3.7	3.0	5.1	10.8	10.1	8.7	0.7	1.3	1.6	1.2	3.4	5.3	6.1	4.9
4	0.5	0.7	1.6	0.9	0.5	0.9	1.9	1.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.6	1.2	0.7
5		1.2	1.0	1.1		0.9	2.3	1.6		0.2	0.3	0.3		0.5	1.3	0.9
10	0.4	0.5	0.9	0.6	0.5	0.6	1.4	0.8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.9	1.0	0.8
11	1.3	2.3	6.6	3.4	1.8	2.6	4.4	2.9	1.6	1.2	0.6	1.1	6.5	4.3	3.2	4.7
13	0.6	0.9	1.6	1.0	0.9	1.2	3.1	1.8	0.2	0.2	0.5	0.3	0.7	0.9	2.2	1.3
16	1.7	1.7	3.5	2.3	1.4	2.1	2.9	2.1	0.4	0.4	0.5	0.4	1.4	1.3	2.1	1.6
23	1.0	0.9	2.5	1.5	1.5	2.1	3.7	2.4	0.3	0.4	0.7	0.5	1.4	1.6	3.1	2.0
26		0.6	2.2	1.4		0.7	2.4	1.5		0.2	0.4	0.3		0.5	1.8	1.2
27	0.6		2.0	1.3	1.3		3.5	2.4			0.7	0.7			3.4	3.4
28	1.0		1.1	1.1	1.8		1.6	1.7	0.4		0.3	0.4	1.4		1.3	1.3
32	0.7		1.6	1.2	1.2		2.2	1.7	0.2		0.4	0.3	0.9		1.6	1.2
36	1.0	1.0	2.2	1.4	1.8	2.1	3.9	2.6	0.4	0.4	0.7	0.5	1.6	1.6	3.2	2.1
42	1.0	0.8	1.8	1.2	1.9	1.7	3.2	2.3	0.4	0.3	0.6	0.4	1.6	1.3	2.6	1.8
47	1.0		1.3	1.1	2.1		3.2	2.7	0.4		0.6	0.5	1.9		2.8	2.3
50	0.7	0.8	1.5	1.0	1.2	1.2	2.7	1.7	0.3	0.3	0.6	0.4	1.1	1.0	2.5	1.5
56	0.7	0.9	1.4	1.0	0.8	1.3	2.0	1.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.6	0.8	1.5	1.0
57	1.0	0.9	1.5	1.1	2.2	1.5	2.5	2.1	0.4	0.2	0.5	0.4	1.9	0.8	2.1	1.6
58	0.8	0.6	1.5	0.9	1.3	1.3	3.0	1.9	0.3	0.2	0.6	0.4	1.1	0.8	2.5	1.5
61	1.2	1.2		1.2	2.7	2.7		2.7	0.6	0.5		0.5	2.7	1.9		2.3
62	0.9	1.1	1.1	1.0	1.6	1.9	2.2	1.9	0.3	0.4	0.5	0.4	1.5	1.5	2.0	1.7
63	1.0	1.0	1.6	1.2	2.3	2.1	3.5	2.7	0.4	0.4	0.7	0.5	1.9	1.6	3.2	2.3
64	0.7		2.4	1.5	1.0		3.5	2.3	0.2		0.6	0.4	0.9		2.9	1.9

QUATRE SERVICES SUR QUATRE SITES



GRAVELINES

ADMINISTRATIF ET FINANCIER/RESSOURCES HUMAINES

Rue du Pont de pierre - B.P. 78
59820 GRAVELINES

administration@atmo-npdc.fr ou finances@atmo-npdc.fr



VALENCIENNES

COMMUNICATION

Zone d'activités de Prouvy-Rouvignies - B.P. 800
59309 VALENCIENNES Cedex

contact@atmo-npdc.fr



BÉTHUNE

ÉTUDES/RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

Centre Jean-monnet
Avenue de Paris
62400 BÉTHUNE

etudes@atmo-npdc.fr



LILLE

TECHNIQUE ET MÉTROLOGIE

189, boulevard de la Liberté
59000 LILLE Cedex

technique@atmo-npdc.fr