



CARTOGRAPHIE DU DIOXYDE D'AZOTE EN BELGIQUE

MESURES DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DU DIOXYDE D'AZOTE PAR TÉLÉDÉTECTION OPTIQUE EMBARQUÉE SUR UNE VOITURE

Alexis Merlaud,

Jeroen van Gent,

Frederik Tack,

Caroline Fayt et

Michel Van Roozendaal

Le 26 juillet 1943, les habitants de Los Angeles pensèrent être victime d'une attaque chimique des japonais. Un brouillard épais et persistant, à l'odeur d'eau de javel, irritait les yeux et les voies respiratoires, provoquant même des vomissements. Des épisodes similaires de *smog* - contraction des termes anglais *smoke* (fumée) et *fog* (brouillard) - se reproduisirent. L'hypothèse de l'attaque militaire écartée, on attribua ensuite le smog à des usines de produits chimiques. Certaines furent temporairement fermées. Mais le smog revenait toujours. On constata entre-temps que le smog endommageait les récoltes et les pneus des véhicules.

Il fallut attendre les années 50 et les travaux du chimiste Arie Jan Haagen-Smit, pionnier de l'étude scientifique de la qualité de l'air, pour comprendre la nature et l'origine du smog. L'odeur de javel correspond à l'ozone (O_3), qui réagit avec les tissus organiques. Mais l'ozone n'est en général pas créé directement par les usines, c'est le produit de réactions chimiques complexes où interviennent les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, sous l'action de la lumière du Soleil. Les oxydes d'azote

($NO_x = NO + NO_2$) sont produits par tous types de combustion, la source principale dans les villes étant le moteur à combustion des voitures et camions.

La Belgique particulièrement polluée au dioxyde d'azote

En Belgique, les épisodes de smog sont moins spectaculaires qu'à Los Angeles. Ceci est en particulier dû à la topographie plus ouverte et à l'ensoleillement plus faible. La densité du trafic routier entraîne néanmoins une production importante d'oxydes d'azote. Le smog est d'ailleurs bien visible au-dessus des grandes villes comme Bruxelles (voir Figure 1). Les seuils critiques d'ozone sont dépassés régulièrement en été (ainsi au début du mois de juillet 2015), comme ceux des particules et des oxydes d'azote en hiver. Le NO_2 est, comme l'ozone, néfaste pour le système respiratoire. A très haute concentration (1 partie par million ou ppm), le NO_2 peut provoquer des lésions chez les personnes en bonne santé. En cas d'exposition prolongée, les personnes asthmatiques et les malades pulmonaires chroniques subissent déjà des effets à des concentrations de l'ordre de quelques dixièmes de ppm. La directive européenne 2008/50/CE a fixé des valeurs limites horaires et annuelles pour l'exposition au

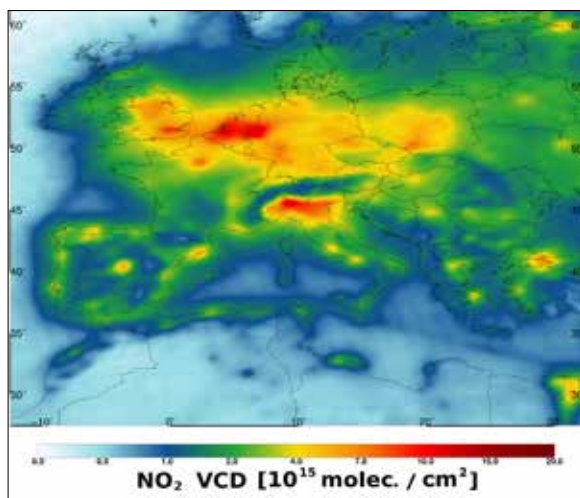


Figure 2 : Distribution spatiale du NO₂ en Europe, données de l'instrument OMI moyennées entre 2005 et 2010. Le Nord de la Belgique apparaît particulièrement concerné par ce polluant.



Figure 3 : Voiture de l'IASB équipée de l'instrument Mobile-DOAS. La tête optique, sur laquelle sont fixées les fibres optiques, est installée sur la fenêtre arrière. Le spectromètre et l'ordinateur sont à l'intérieur de la voiture.

NO₂. A Bruxelles, d'après les données des stations de mesure de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), la valeur limite horaire est respectée, à l'exception du carrefour Arts-Loi. Par contre, la valeur limite annuelle est souvent dépassée.

Avantages et limitations des mesures depuis l'espace

Les propriétés optiques de la molécule de NO₂ permettent de mesurer cette espèce chimique depuis l'espace (Figure 2). Ceci permet de constater que la Belgique est une des zones les plus polluées au NO₂ d'Europe, avec les Pays-Bas, l'Allemagne, le bassin londonien et la Plaine du Po, en fait les régions où le trafic routier est le plus dense. Les mesures satellites présentent l'avantage certain d'offrir une couverture globale sur de longues périodes. Ce dernier aspect permet de constater que le NO₂ n'augmente plus en Belgique, ce qui est aussi visible dans les prélèvements au sol, contrairement à ce qui se passe dans l'Est de la Chine par exemple (dans ce cas davantage lié aux émissions de l'industrie qu'aux voitures). Mais ces mesures satellitaires souffrent d'une résolution spatiale limitée, de l'ordre de 10 km (la taille du pixel est de 13 x 24 km² pour l'instrument OMI, le plus précis en ce moment), qui ne permet pas d'apprécier la distribution spatiale à l'intérieur d'une ville, là où précisément les concentrations sont les plus importantes. En outre, les mesures satellitaires sont réalisées aux heures fixes des orbites héliosynchrones, ce qui ne permet pas d'étudier les variations journalières du NO₂ et les maxima aux heures de pointes.

Les mesures Mobile-DOAS de l'IASB

Afin de d'étudier plus en détail la distribution spatiale et temporelle du NO₂, l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) développe, depuis 2009, des instruments compacts de mesures de NO₂ par télédétection optique. Ce type d'instruments peut facilement être installé sur une voiture (Figure 3) et utilise le même principe optique

que les instruments satellitaires. La mesure est basée sur la quantification, au moyen d'un spectromètre, de l'absorption spécifique du NO₂ dans la lumière du Soleil diffusée dans l'atmosphère, et révèle l'épaisseur de la couche de NO₂. La lumière est collectée au moyen de deux fibres optiques pointant respectivement au zénith et à 30° au-dessus de l'horizon. Cette configuration permet d'isoler le NO₂ anthropique proche du sol de la couche naturelle dans la stratosphère. Les données récoltées sont géolocalisées grâce à l'enregistrement simultané de la position GPS. Cette technique de mesure, Mobile-DOAS, a récemment été utilisée par plusieurs groupes de recherche pour étudier les émissions des villes et des sites industriels.

L'instrument Mobile-DOAS de l'IASB a été utilisé dans plusieurs campagnes de mesures internationales au Pays-Bas (2009), en Allemagne (2013), et en Roumanie (2014). Il a en outre été utilisé pour réaliser des mesures de routine, principalement en Belgique en 2010 et 2011 (Figure 4), en utilisant les trajets professionnels d'un ingénieur de maintenance volontaire. Ces dernières mesures couvrent une grande partie de la Belgique et permettent d'affiner la connaissance du champ de NO₂ détecté par l'instrument satellitaire. Comme sur les données satellites, le Nord du pays apparaît particulièrement pollué au NO₂. Mais les mesures Mobile-DOAS permettent d'affiner la résolution spatiale de plusieurs ordres de grandeur (10 km pour le satellite à moins de 100 m pour la voiture). Cette résolution permet de détecter les variations à l'intérieur de la zone la plus polluée en Flandre et à l'intérieur de Bruxelles, mais également de détecter les augmentations autour des grandes villes de Wallonie (Mons, Charleroi et Liège), qui n'apparaissent pas dans les données satellites.

En avril et juin 2015, le Mobile-DOAS de l'IASB a été utilisé lors d'une campagne de mesures financée par la

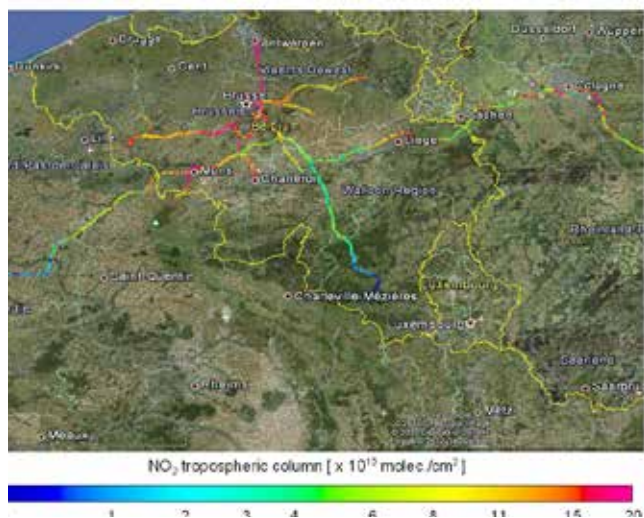


Figure 4 : Mesures Mobile-DOAS de la colonne de NO_2 en Belgique en 2011. Leur résolution spatiale fine (100 m) permet d'observer des détails invisibles dans les données satellites, celles-ci étant limitées par la taille des pixels des instruments atmosphériques depuis l'espace (10 km).

Politique scientifique fédérale (Belspo), à laquelle participaient nos collègues du VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) et d'IRCELINE (Cellule interrégionale pour l'environnement). La campagne a consisté à faire voler l'instrument APEX (un spectromètre imageur embarqué dans un avion) au-dessus des villes de Bruxelles, Liège, et Anvers (voir Figure 5), en effectuant des mesures Mobile-DOAS simultanées au sol. A l'heure d'écrire cet article, les données d'APEX sont analysées par l'IASB en collaboration avec le VITO. Les mesures Mobile-DOAS permettront de calibrer et valider les cartes de NO_2 produites avec les données APEX. L'objectif de ce projet est d'améliorer les modèles de qualité de l'air en Belgique, afin de mieux comprendre, prévoir, et prévenir les épisodes de pollution.

Les auteurs

Alexis Merlaud, Jeroen van Gent, Frederik Tack, Caroline Fayt et Michel Van Roozendaal sont chercheurs à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB).

Remerciements

L'activité Mobile-DOAS à l'IASB bénéficie du soutien d'une bourse *développement durable* de la Loterie Nationale. Nous remercions nos collègues Anabel-Lise Le Roux, Yves Geunes, Olivier Ferrière et Stéphanie Fratta pour leur soutien actif dans différentes étapes du projet.

Plus

Plus d'informations sur les mesures Mobile-DOAS et le groupe DOAS de l'IASB :
<http://aeromobil.be/>
<http://uv-vis.aeronomie.be/>



Figure 5 : Distribution (qualitative) du NO_2 à Anvers (15 avril 2015)

La méthode DOAS pour la télédétection atmosphérique et les mesures in-situ : voir et sentir

Les mesures mobiles de NO_2 réalisées par l'IASB utilisent la même technique que les mesures satellitaires : la méthode DOAS. Le principe de la Spectroscopie Optique d'Absorption Différentielle (acronyme *DOAS* en anglais) remonte aux premières mesures de la couche d'ozone par Fabry et Buisson dans les années 1920. Outre le NO_2 , de nombreux composants atmosphériques importants peuvent être mesurés grâce à cette méthode (le formaldéhyde, le dioxyde de soufre, l'ozone, ...). Le DOAS consiste à étudier la variation de l'intensité de la lumière en fonction de la longueur d'onde, le spectre de la lumière. En traversant un milieu gazeux, ce spectre est modifié par l'absorption des molécules du milieu. L'absorption de lumière est spécifique à chaque espèce chimique, chaque espèce présente laisse ainsi une sorte d'empreinte digitale dans le spectre de la lumière. Les différences d'intensité entre les longueurs d'onde ou l'absorption de la molécule est forte et celle où elle est faible permettent alors de quantifier le nombre de molécules sur le trajet de la lumière.

Appliquée à la lumière du Soleil diffusée dans le ciel, la technique DOAS permet de quantifier *la colonne* (la concentration d'une espèce chimique intégrée sur la verticale) d'un gaz comme le NO_2 . La colonne peut être comprise comme l'épaisseur de la couche de gaz dans l'atmosphère. Comme la quantité mesurée (ici la colonne de NO_2) n'est pas directement en contact avec l'instrument de mesure, on parle de mesures de *télédétection*. Les mesures Mobile-DOAS décrites ici sont complémentaires aux données des stations fixes d'IRCELINE. Ces dernières reposent sur l'analyse chimique des prélèvements d'air en contact avec les stations. On parle alors de mesures in-situ. La connaissance de la concentration de surface, mesurée *in-situ* par les stations, est primordiale pour étudier l'exposition de la population à la pollution. D'un autre côté, les mesures de colonnes permettent de calibrer et de valider les mesures satellitaires et de contraindre la modélisation du transport et de la chimie de la pollution, étape nécessaire à la compréhension et à la prédiction de la qualité de l'air. Par analogie avec les sens humains, les mesures de télédétection s'apparentent à la vue et les mesures in-situ à l'odorat.