

INDICATEUR :

CONCENTRATION EN OZONE TROPOSPHÉRIQUE : MOYENNE ANNUELLE ET NOMBRE DE JOURS OÙ LA CONCENTRATION MAXIMALE SUR 8 HEURES A DÉPASSÉ LE SEUIL EUROPÉEN

THÈME: AIR

1 INTÉRÊT ET ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION DE L'INDICATEUR

Question posée par l'indicateur :

Quelle est l'évolution de l'exposition de la population à l'ozone troposphérique ?
Les normes de protection de la santé sont-elles respectées ?

Contextualisation de l'indicateur :

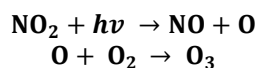
Problématique environnementale décrite par l'indicateur :

L'ozone (O₃) est un gaz oxydant participant à la dégradation de la matière organique et est donc irritant pour les organismes vivants (les humains comme les animaux, les cultures ou forêts).

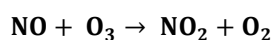
L'ozone est un polluant **secondaire**, c'est-à-dire qu'il n'est pas émis directement dans l'atmosphère mais est formé par réaction photochimique avec d'autres polluants précurseurs. Cette formation d'ozone a lieu dans la troposphère et on parle donc d'ozone troposphérique, par opposition à l'ozone stratosphérique (la «couche d'ozone») qui est nécessaire à la vie sur Terre par sa filtration du rayonnement ultraviolet (UV) de haute énergie.

Au niveau de la troposphère, l'ozone est produit principalement lors de journées chaudes et ensoleillées, en présence de précurseurs dont les principaux sont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV).

L'ozone est toujours produit par réaction de la molécule d'oxygène O₂ avec un atome d'oxygène O. Les atomes d'oxygène sont notamment issus de la dissociation photochimique (via l'action du rayonnement ultraviolet solaire) des molécules de NO₂, comme décrit dans les équations chimiques suivantes :



Cependant, le monoxyde d'azote est lui-même rapidement oxydé par l'O₃ :



On voit donc que les NO_x ont un effet de précurseur mais aussi de consommateur de l'O₃. On observe ainsi l'établissement d'un équilibre chimique entre ces polluants.



En pratique, la chimie atmosphérique de l'ozone est complexe, et beaucoup d'espèces différentes sont impliquées dans ces équilibres. C'est pourquoi les composés organiques volatils (COV, par exemple : méthane, éthène, formaldéhyde, isoprène, etc.) ont un rôle important dans la formation d'ozone. La situation dépend aussi du régime chimique de la région géographique concernée, c'est-à-dire la valeur du ratio $[NO_x]/[COV]$. Ceci explique la difficulté de prendre des mesures efficaces pour réduire les concentrations d'ozone, en cas de pic de pollution notamment.

En régime urbain, les concentrations en NO_x sont généralement élevées. Ce processus est alors limité par la concentration en COV. De ce fait, réduire les émissions de NO_x (en imposant des mesures sur la circulation par exemple) n'aura pas pour effet de réduire la concentration d'ozone. Ceci s'explique pour deux raisons :

- Tout d'abord, comme les réactions chimiques sont limitées par la concentration en COV, réduire la concentration en NO_x n'aura pas d'influence significative.
- D'autre part, les émissions de NO_x dues à la combustion dans les moteurs des véhicules produisent du NO qui contribue à consommer l' O_3 . Ce dernier effet est local, relativement rapide (échelle horaire) et intervient hors équilibre NO_x (c'est-à-dire que le ratio $[NO]/[NO_2]$ est localement plus élevé que loin du trafic routier), ce qui explique la forte anticorrélation entre la présence de trafic et les concentrations en ozone.

Du point de vue des effets sur la santé humaine de l'ozone, ces derniers incluent typiquement une diminution de la fonction pulmonaire et un risque d'inflammation des voies respiratoires. La végétation subit quant à elle une dégradation progressive du tissu végétal, plus impactée par une exposition chronique faible que des pics de pollution, nécessitant des ressources excédentaires et ralentissant ainsi la croissance et le rendement des cultures.

Contexte politique et légal :

La surveillance et le rapportage de la concentration en ozone dans l'air ambiant sont régis par la directive européenne 2008/50/CE. Cette directive a été adoptée le 21 mai 2008 et est d'application depuis le 11 juin 2008 (la transposition a dû être réalisée dans chaque Etat membre avant le 11 juin 2010). La directive 2024/2881, adoptée le 23 octobre 2024, révisé la directive 2008/50/CE et instaure de nouvelles normes pour la surveillance de l'ozone troposphérique, d'application à partir de 2030.

Objectifs quantitatifs à atteindre et, le cas échéant, statut :

La directive 2008/50/CE n'impose pas de valeur limite (légalement contraignante), mais une « **valeur cible** » pour l'ozone troposphérique, c'est-à-dire un niveau fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée. Plus précisément, la directive fixe deux valeurs cibles pour la concentration en ozone troposphérique : une pour la protection de la santé publique et une autre pour la protection de la végétation¹ (voir le tableau ci-dessous). L'année 2010 est la première année dont les données sont prises en compte pour évaluer le respect des valeurs cibles.

La directive fixe également des « **objectifs à long terme** » pour assurer la protection de la santé publique et de la végétation. Il s'agit de valeurs seuils en-dessous desquelles, selon les connaissances scientifiques actuelles, des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement dans son ensemble sont peu probables. Sauf lorsque cela n'est pas faisable par des mesures proportionnées (ou, en d'autres termes, efficaces au regard de leurs coûts), cet objectif doit être atteint à long terme afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement.

Cette directive fixe en outre un « **seuil d'information** » et un « **seuil d'alerte** » pour la concentration en ozone troposphérique. Le « seuil d'information » est un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine chez les groupes particulièrement sensibles de la population et à partir duquel des informations actualisées sont nécessaires. Le « seuil d'alerte » est un niveau au-delà duquel une

¹ La valeur cible pour la protection de la végétation est l'AOT40, elle n'est pas reprise dans l'indicateur pour l'ozone troposphérique.



exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population et à partir duquel les États membres prennent éventuellement des mesures, pour autant que celles-ci soient utiles, conformément aux articles relatifs à l'information du public et aux plans d'action à court terme de la directive.

La directive 2024/2881 renforce la valeur cible pour la protection de la santé publique. Le respect de cette nouvelle valeur est à évaluer à partir de 2030. La directive renforce également l'objectif à long terme pour la protection de la santé publique, à atteindre à l'horizon 2050. Les valeurs cibles pour la protection de la végétation ainsi que les seuils d'information et d'alerte pour la concentration en ozone troposphérique restent quant à eux inchangés par rapport à la directive 2008/50/CE.

Enfin, les lignes directrices 2021 de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommandent des valeurs de concentration prévoit des valeurs recommandées pour les concentrations en ozone troposphérique. Ces recommandation sont établies en tenant compte uniquement de l'impact sur la santé de la pollution atmosphérique. En plus de la valeur journalière, les lignes directrices de l'OMS prévoient également une valeur recommandée pour la concentration d'ozone troposphérique durant la période de pics d'ozone ; cette période de référence est définie comme la moyenne glissante sur 6 mois présentant la moyenne la plus élevée de l'année, typiquement de mars à août.

Ces différents objectifs sont repris dans le tableau ci-dessous :

Normes européennes et recommandations de l'OMS concernant les concentrations d'ozone dans l'air ambiant			
Période de moyenne	Normes européennes Directive 2008/50/CE application à partir de 2010	Normes européennes Directive (UE) 2024/2881 application à partir de 2030	Lignes directrices de l'OMS 2021
1 heure	180 µg/m ³ (seuil d'information)	180 µg/m ³ (seuil d'information)	
	240 µg/m ³ (seuil d'alerte)	240 µg/m ³ (seuil d'alerte)	
Maximum journalier des concentrations* sur 8 heures (valeur pour la protection de la santé publique)	120 µg/m ³ 25 jours de dépassement autorisés par an, en moyenne sur 3 ans (valeur cible)	120 µg/m ³ 18 jours de dépassement autorisés par an, en moyenne sur 3 ans (valeur cible)	100 µg/m ³ 3-4 jours de dépassement autorisés par an (valeur cible recommandée)
	120 µg/m ³ aucun dépassement autorisé (objectif à long terme)	100 µg/m ³ aucun dépassement autorisé (objectif à long terme - 2050)	
AOT-40** (valeur pour la protection de la végétation)	18000 (µg/m ³)*h en moyenne sur 5 ans (valeur cible)	18000 (µg/m ³)*h en moyenne sur 5 ans (valeur cible)	
	6000 (µg/m ³)*h (objectif à long terme)	6000 (µg/m ³)*h (objectif à long terme)	
Saison de pointe			60 µg/m ³ *** (valeur cible recommandée)
* calculées sur base des moyennes glissantes sur 8 heures. Ces moyennes sont calculées à partir de données horaires et actualisées toutes les heures.			
** formule calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet (entre 8h et 20h, temps de l'Europe centrale)			
*** moyenne des maxima journaliers de la moyenne glissante sur 8 heures, pendant la période de pics d'ozone. Cette période de référence est définie comme la moyenne glissante sur 6 mois présentant la moyenne la plus élevée de l'année. Elle s'étend typiquement de mars à août.			

2 FONDEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Définition :

Deux indicateurs sont envisagés :

- la concentration moyenne annuelle en O₃ à la station d'Uccle, calculée pour une année calendrier (du 1^{er} janvier au 31 décembre). Bien que la moyenne annuelle ne fait l'objet d'aucune norme européenne ou valeur recommandée par l'OMS, son suivi offre une perspective intéressante de l'évolution à long terme des concentrations en ozone.



;

- le nombre de jours où la concentration maximale des moyennes glissantes sur 8 heures a dépassé la valeur cible de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fixée par l'UE pour la protection de la santé publique, à la station d'Uccle, par an et en moyenne sur trois ans. Cet indicateur est comparé à la valeur cible européenne actuelle et à la valeur cible pour 2030.

Unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et nombre de jours respectivement

Mode de calcul et données utilisées :

Les deux indicateurs sont calculés à la station d'Uccle, station urbaine très faiblement influencée par le trafic : les concentrations d'ozone y sont en effet les plus élevées à Bruxelles en raison de sa moindre exposition aux émissions directes de NO provenant du trafic. Ils sont calculés à partir des concentrations semi-horaires sans arrondi.

Le nombre de jours où la concentration maximale des moyennes glissantes sur 8 heures dépasse le seuil de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est comparé aux 25 jours maximum de dépassement autorisés, nombre calculé en tant que moyenne sur 3 ans à partir du 1^{er} janvier 2010. L'année 2010 est donc la première année dont les données sont utilisées pour vérifier le respect de la valeur cible (c.-à-d. la moyenne des jours de dépassements sur la période 2010-2012).

La valeur maximale journalière des moyennes glissantes sur 8 heures est arrondie. De façon générale, l'arrondi n'est effectué que sur le résultat final et c'est ce dernier qui est comparé aux valeurs européennes.

La méthode de mesure de la concentration en ozone est expliquée dans le rapport technique « Ozone et dioxyde d'azote » chapitre 2.2).

Source des données utilisées :

Bruxelles Environnement, Département Laboratoire Qualité de l'air. La qualité des données répondent aux critères de la directive 2008/50/CE et des recommandations de la décision 2011/850/EC.

Périodicité conseillée de mise à jour de l'indicateur :

Annuelle

3 COMMENTAIRES RELATIFS A LA MÉTHODOLOGIE OU A L'INTERPRÉTATION DE L'INDICATEUR

Limitation / précaution d'utilisation de l'indicateur :

La dispersion spatiale de la concentration en ozone n'est pas homogène.

Elle dépend surtout du processus de destruction d'ozone qui peut varier d'un endroit à l'autre :

- Dans les endroits où il y a un surplus d'oxyde d'azote NO, la destruction de l'ozone l'emporte sur la formation de l'ozone. C'est le cas dans les centres-villes et à proximité des axes routiers.
- Vu à plus grande échelle, c'est en périphérie des grandes villes et aux endroits avec peu de trafic qu'on observe les concentrations en ozone les plus élevées car les faibles émissions de NO limitent la consommation de l'ozone : c'est le cas des stations rurales (inexistantes en RBC) et des stations urbaines situées dans une zone résidentielle (Uccle, Berchem-Ste-Agathe).

Lors de la lecture des histogrammes qui indiquent le nombre de jours de dépassement en tant que moyenne sur 3 ans, il est important de noter que l'année indiquée sur l'axe des



abscisses correspond à la dernière année de chaque période de 3 ans. Par exemple, la valeur qui se trouve à 2012 correspond à la moyenne des années 2010 à 2012.

Pour contrôler la validité lors de l'agrégation des données et du calcul des paramètres statistiques, la directive 2008/50/CE a imposé des critères sur les paramètres suivants [annexe I, point A ; annexe VII, point A.2] :

- Les valeurs horaires (qui sont les données de base) : pour obtenir une valeur horaire valide, la proportion requise de données valides est de 75% (45 minutes).
- Les valeurs relevées sur 8 heures : 75% des valeurs au moins (soit 6 heures) doivent être disponibles pour calculer une moyenne valide sur 8 heures.
- La moyenne journalière maximale sur 8 heures, calculée à partir des moyennes horaires glissantes sur 8 heures : 75% des moyennes horaires glissantes sur 8 heures (soit 18 moyennes horaires sur 8 heures par jour) doivent être obtenus.
- Moyenne annuelle : 75% des valeurs sur une heure mesurées d'avril à septembre et 75% des valeurs mesurées de janvier à mars et d'octobre à décembre, mesurées séparément.
- Le nombre de dépassements et valeurs maximales par mois : 27 valeurs quotidiennes doivent être disponibles chaque mois. De plus, cette condition doit être satisfaite au moins 5 mois sur 6 durant la période d'avril à septembre.
- Le nombre de dépassements et valeurs maximales par an : pour les mois d'été, d'avril à septembre, 90% des données au minimum sont requis ; pour les mois d'hiver, d'octobre à février, 75% des données sont requis au minimum.

Lorsque la moyenne sur trois ans ne peut être déterminée à partir d'une série complète et consécutive de données, les données annuelles minimales requises pour le contrôle du respect de la valeur cible pour la protection de la santé humaine sont les données valides pendant un an [annexe VII, point B].

Depuis 2006, le temps d'intégration minimal des données brutes correspond à 60 minutes. Avant cette date, le Département Laboratoire Qualité de l'air basait ses calculs sur des valeurs semi-horaires, sur lesquelles un arrondi avait été réalisé.

Depuis 2012, le calcul des paramètres statistiques se fait selon les recommandations du « Commission Implementing Decision 2011/850/EC laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality » publiées le 12 décembre 2011.

Difficultés méthodologiques rencontrées :

Les difficultés méthodologiques rencontrées au niveau de la méthode de mesure proprement dite et de la représentativité spatiale des stations de mesures sont présentées dans les rapports techniques référencés dans le point 6 ci-dessous.

4 LIENS AVEC D'AUTRES INDICATEURS OU DONNÉES (RAPPORTS SUR L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT BRUXELLOIS)

- Qualité de l'air : concentration en NO₂
- Qualité de l'air : concentration en particules fines (PM₁₀ primaires)
- Emissions de précurseurs d'ozone (NO_x, COV, CO et CH₄)



5 PRINCIPALES INSTITUTIONS IMPLIQUÉES DANS LE DÉVELOPPEMENT D'INDICATEURS SIMILAIRES (EUROPE, BELGIQUE, AUTRE SI PERTINENT)

Région wallonne :

SPW Environnement - Département de l'Étude du milieu naturel et agricole (DEMNA) – Direction de l'état environnemental (DEE)

Etat de l'environnement wallon / Indicateurs environnementaux / Composantes environnementales et lien environnement-santé / Air et climat / Ozone dans l'air ambiant (santé).

Disponible sur :

<http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AIR%208.eew-sheet.html#>

Région flamande :

VMM

Lucht / [Ozon](#) / Ozonconcentratie / Ozonconcentratie (O₃) in de omgevingslucht

Disponible sur :

<https://www.vmm.be/lucht/ozon/ozonconcentratie>

Lucht / [Ozon](#) / Ozonoverschrijdingsdagen / Ozonoverschrijdingsdagen (NET60)

Disponible sur :

<https://www.vmm.be/lucht/ozon/ozonoverschrijdingsdagen>

Union européenne :

AEE

Europe's air quality status in 2024

Disponible sur :

<https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>

Indicateur : Exceedance of air quality standards in urban areas

Disponible sur :

<https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards>

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (MÉTHODOLOGIE, INTERPRÉTATION)

- Bruxelles Environnement. Département Laboratoire Qualité de l'air, juin 2025. « La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale – Rapport annuel 2024 », rapport technique, 84 pages.
Disponible sur :
https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=11452
- Bruxelles Environnement. BRASSEUR OLIVIER, janvier 2011. « Ozone et Dioxyde d'Azote », rapport technique, 45 pages.
Disponible sur :
http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Air_Labo_o3_no2.PDF
- OMS, « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air Résumé d'orientation », 2021, 16 pages.
Disponible sur :
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346555/9789240035423-fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



7 COUVERTURE SPATIO-TEMPORELLE

Série temporelle disponible : 1989-2024²

Couverture spatiale des données : 5 stations du réseau télémétrique de Bruxelles Environnement mesurent actuellement les concentrations en ozone troposphérique, mais seule la station d'Uccle est reprise dans l'indicateur.

Date de dernière mise à jour de l'indicateur : septembre 2025

Date de dernière mise à jour de cette fiche méthodologique : septembre 2025

² Si l'on se réfère à l'annexe XI de la directive 2008/50/CE, 90% des valeurs sur une heure ou (si elles ne sont pas disponibles) des valeurs relevées sur 24h pendant une année doivent être obtenus pour avoir une moyenne annuelle valide. Dans le cas de l'ozone, les pourcentages de disponibilité des concentrations horaires par année, qui sont supérieurs ou égaux à 90%, commencent seulement en 1999.

