

Air et atmosphère

Ozone troposphérique

Messages clés

- Contrairement à l'ozone présent dans la stratosphère, l'ozone troposphérique nuit à la santé humaine, à la végétation et aux matériaux. L'ozone et ses produits chimiques précurseurs se déplacent à l'échelle de l'Amérique du Nord et au-delà des frontières continentales.
- Les êtres humains contribuent à la formation d'ozone troposphérique principalement par la combustion de combustibles fossiles dans le secteur des transports, les secteurs industriels et le secteur de la production d'énergie. L'évaporation de combustibles liquides et de solvants est également à l'origine de la formation d'ozone.
- Dans certaines régions d'Amérique du Nord, les concentrations d'ozone troposphérique dépassent les normes nationales applicables à la protection de la santé humaine.
- Depuis 1990, les émissions totales de produits chimiques précurseurs de l'ozone ont baissé en Amérique du Nord, mais la tendance en ce qui concerne l'exposition des êtres humains dans les trois pays est mitigée, ce qui témoigne des différences entre les conditions locales et les méthodes de déclaration.

L'ozone troposphérique est un gaz incolore très irritant créé par des réactions photochimiques entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, produites le plus souvent par la combustion de combustibles, les vapeurs d'essence et les solvants chimiques.

Enjeu environnemental à l'étude

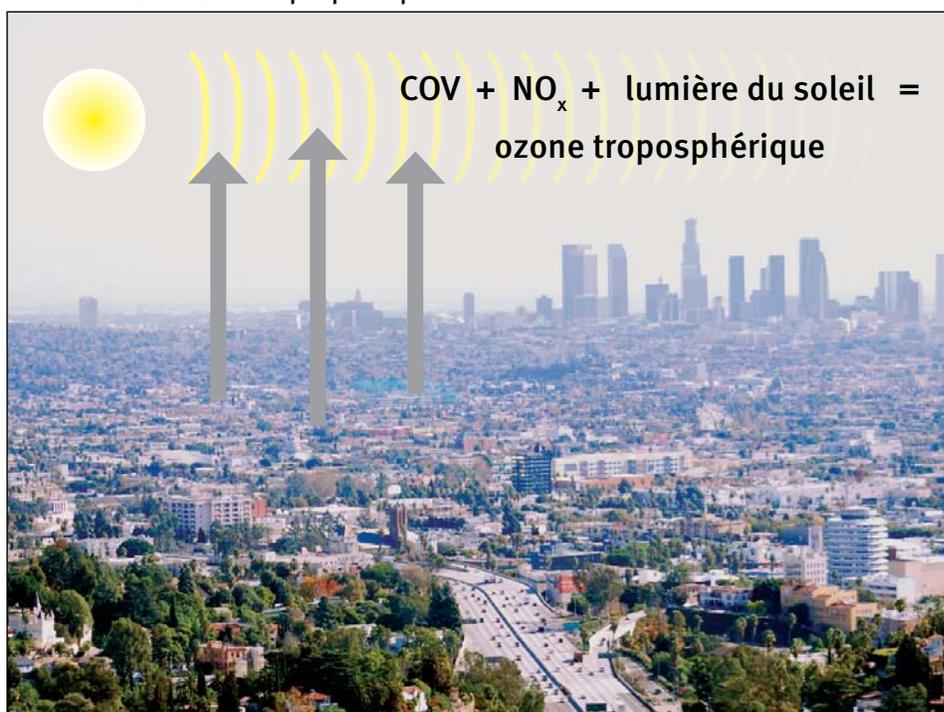
L'ozone (O_3) est un gaz qu'on trouve dans différentes parties de l'atmosphère. L'ozone stratosphérique (de la haute atmosphère) est un gaz essentiel qui protège la Terre contre les rayons ultraviolets nocifs. Par contre, l'ozone qu'on trouve près du sol, dans la troposphère, est nocif tant pour la santé humaine que pour l'environnement. C'est pourquoi on dit souvent de l'ozone qu'il est « bon quand il est très haut et nocif quand il est près de nous. »

L'ozone troposphérique est produit quand les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV) subissent une réaction photochimique à la lumière du soleil (voir la figure).

Les centrales électriques, les gaz d'échappement des véhicules à moteur, les établissements industriels, les vapeurs d'essence et les solvants chimiques sont les principales sources d'émissions.

L'ozone se forme également au niveau du sol à la suite des émissions naturelles de COV, NO_x et de monoxyde de carbone (CO), mais aussi à partir de l'ozone stratosphérique qui se rapproche parfois de la surface de la Terre. Les sources naturelles de précurseurs de l'ozone sont les émissions provenant des plantes et du sol, des feux de forêt et des éclairs. On observe des concentrations élevées d'ozone dans de nombreux sites éloignés à des latitudes moyennes, à la fin de l'hiver et au printemps, en particulier à haute altitude. Toutefois, le transport à

Formation de l'ozone troposphérique





Pourquoi cet enjeu est-il important pour l'Amérique du Nord?

L'ozone troposphérique a des effets délétères sur la santé des êtres humains et des animaux, ainsi que sur l'environnement. Malgré les efforts de réduction déployés par les trois pays, son niveau dépasse toujours les normes nationales de qualité de l'air de l'Amérique du Nord.

Effets de l'ozone troposphérique

L'ozone troposphérique, qui est un des principaux composants du smog, est considéré comme un problème « sans seuil d'exposition ». En effet, même de très petites quantités dans l'air ont des effets délétères sur la santé humaine, en particulier sur les systèmes cardiovasculaire et respiratoire. On sait que l'exposition à l'ozone est associée à des cas de mortalité prématurée et à un certain nombre de cas de morbidité (hospitalisations et symptômes de l'asthme, entre autres). Après avoir analysé les données sur la pollution atmosphérique et la mortalité dans huit grandes villes canadiennes, Santé Canada a estimé que, dans ces villes-là, près de 6 000 décès par an pouvaient être attribués à la pollution, dont l'ozone troposphérique est largement responsable. Selon l'Ontario Medical Association, la pollution atmosphérique coûte aux citoyens de la province plus d'un milliard de dollars canadiens par an en raison des hospitalisations, des visites aux salles d'urgence et de l'absentéisme. Aux États-Unis, des études menées dans 95 grands centres urbains par des chercheurs de Yale et Johns Hopkins ont révélé que l'augmentation des concentrations quotidiennes d'ozone était à l'origine de plus de 3

longue distance et l'accumulation hivernale de précurseurs d'O₃, contribuent également à ces concentrations printanières; il est donc impossible d'attribuer ces concentrations élevées uniquement à des sources naturelles.

Les concentrations d'ozone troposphérique sont souvent plus élevées durant les chaudes journées d'été ou en aval des régions peuplées qui émettent les polluants précurseurs nécessaires. Dans l'hémisphère Nord, les concentrations d'ozone sont généralement plus élevées l'après-midi durant les mois où les températures sont élevées et où la lumière directe du soleil est la plus présente.

700 décès chaque année, des suites de maladies cardiovasculaires ou respiratoires.

La végétation, le rendement des récoltes, les fleurs, les arbustes et les forêts subissent eux aussi les effets de l'ozone troposphérique, lequel peut également détériorer le coton et les matières synthétiques, faire fendre le caoutchouc, et accélérer la décoloration des tissus, peintures et enduits.

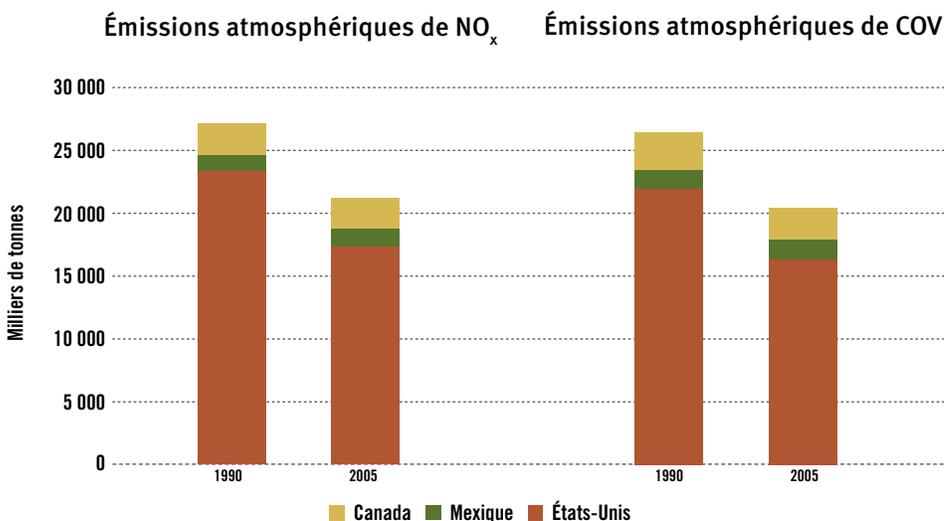
Réduction des émissions

Dans les années 1970, on a commencé à essayer de limiter les concentrations d'ozone troposphérique en Amérique du Nord, grâce à une réduction imposée des émissions de polluants précurseurs. De ce fait, les émissions de NO_x et de COV ont fortement baissé aux États-Unis, malgré une forte croissance économique. Au Canada, les émissions de COV ont baissé, mais les émissions de COV n'ont pratiquement pas changé depuis 1990. Le Mexique a connu une baisse des émissions provenant des véhicules, mais une augmentation des émissions provenant de sources fixes ou stationnaires, tant pour les NO_x que pour les COV. Globalement, les émissions atmosphériques de polluants précurseurs de l'ozone troposphérique en Amérique du Nord ont baissé depuis 1990 – les émissions de NO_x et de COV ont diminué de plus de 20 % (voir les graphiques).

Dans les trois pays, la combustion de carburant par des sources mobiles est la principale source d'émissions de NO_x et de COV, et les centrales électriques alimentées en carburant sont responsables d'importantes émissions de NO_x aux États-Unis et au Mexique. Au Canada, la production de pétrole et de gaz en amont est l'industrie qui rejette le plus de NO_x. En plus des carburants utilisés par le secteur des transports, les solvants constituent une des principales sources d'émissions de COV dans les trois pays, mais au Canada, la production de pétrole et de gaz y contribue aussi largement.

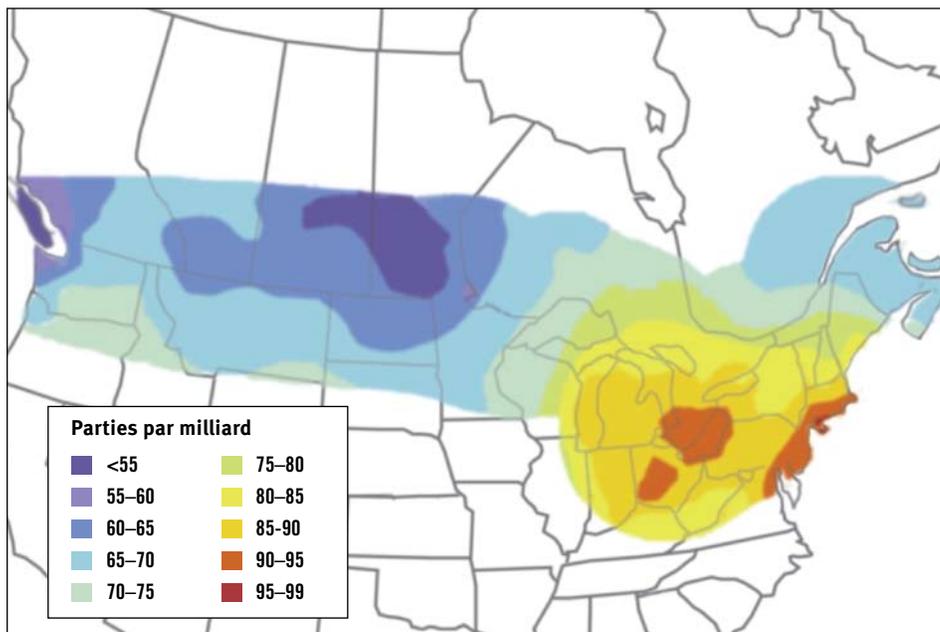
Surveiller les tendances en matière d'ozone

À l'heure actuelle, on dispose de très nombreuses données à propos de l'ozone en Amérique du Nord, fournies par divers réseaux. Par contre, il est difficile de définir des tendances et des modèles pour l'Amérique du Nord, parce que ces ensembles de données ne sont pas uniformes et qu'on utilise des méthodes différentes pour préparer et présenter les résultats. Par ailleurs, il est difficile de définir des tendances utiles pour l'Amérique du Nord parce que les conditions varient considérablement d'une région à l'autre. Dans les trois pays, les activités de surveillance en cours révèlent néanmoins que les concentrations ambiantes de particules dépassent les normes nationales dans certaines régions.



Émissions atmosphériques de NO_x et de COV en Amérique du Nord, 1990 et 2005 (les données les plus récentes du Mexique datent de 2002 plutôt que de 2005). Sources : Environnement Canada, Instituto Nacional de Ecología, US Environmental Protection Agency.

Concentrations le long de la frontière canado-américaine, 2002-2004



Source : Comité Canada-États-Unis sur la qualité de l'air.

Au Canada, les tendances en ce qui concerne la teneur en ozone de l'air ambiant basée sur la norme pancanadienne, sont demeurées pratiquement inchangées au cours de la période de 15 ans terminée en 2005. Toutefois, l'indicateur canadien d'exposition humaine à l'ozone a augmenté en moyenne de 0,8 % par an, affichant une augmentation totale de 12 % entre 1990 et 2005. L'indicateur national d'exposition à l'ozone du Canada, qui est pondéré en fonction de la population, est calculé principalement à partir des concentrations d'ozone et des populations en Ontario et dans le sud du Québec. En 2005, des collectivités de ces régions ont affiché les plus hautes concentrations d'ozone troposphérique par rapport à la norme pancanadienne et aux moyennes saisonnières. De nombreuses stations de surveillance de l'Alberta ont par ailleurs fait état de concentrations saisonnières moyennes élevées. En 2005, au moins 40 % des Canadiens vivaient dans une collectivité où les concentrations d'ozone étaient supérieures à la norme pancanadienne ambiante ciblée.

Au Mexique, la fréquence des journées où les concentrations d'ozone troposphérique dépassent la norme est demeurée constante avec le temps dans la plupart des villes surveillées. Cependant, à Mexico et à Guadalajara, l'ozone troposphérique demeure un grave problème pour la qualité de l'air. En 2005, au moins 27,7 % des Mexicains vivaient dans une municipalité où les concentrations d'ozone étaient supérieures à la norme nationale au moins un jour par an.

Aux États-Unis, les concentrations d'ozone à l'échelle nationale, dont la moyenne est calculée chaque heure et toutes les huit heures, ont respectivement baissé de 12 % et de 8 % entre 1990 et 2005. Malgré cette baisse, en 2005, plus de 10 % d'Américains vivaient dans un pays où la concentration d'ozone horaire était supérieure à la norme nationale américaine de qualité de l'air ambiant, et au moins 33% de personnes vivaient dans un pays où ces concentrations étaient supérieures à la norme sur huit heures.

Mouvements transfrontaliers

Les études menées sur le terrain et les modèles informatiques confirment que le problème que pose l'ozone dans diverses régions d'Amérique du Nord est le résultat d'interactions complexes entre des processus météorologiques de diverse ampleur et les émissions de polluants précurseurs, ainsi que les réactions chimiques qu'elles engendrent. Parfois, les niveaux d'ozone résultent principalement des émissions locales, et les sources situées en amont n'y contribuent que très peu. Parfois, la concentration locale d'ozone résulte surtout du transport de l'ozone et de ses polluants précurseurs à partir de sources en amont.

Des analyses des concentrations d'ozone dans un rayon de 500 kilomètres autour de la frontière canado-américaine ont révélé qu'elles étaient plus élevées dans la région des Grands Lacs inférieurs – région de la vallée de l'Ohio et le long de la côte est américaine (voir la carte). C'est dans l'Ouest et au Canada atlantique qu'on

observe les plus faibles concentrations d'ozone. Elles sont généralement plus élevées en aval des centres urbains, par exemple dans la partie sud-ouest du Michigan. Les concentrations locales élevées qu'on observe dans la région de la baie de Géorgie/de Puget Sound, en Colombie-Britannique/dans l'État de Washington (où le relief est perturbé) n'apparaissent pas clairement sur la carte ci-dessous, bien qu'elles soient inférieures à celles affichées dans l'est. Entre 1995 et 2004, les concentrations annuelles d'ozone troposphérique ont diminué dans cette région, et les tendances de chaque côté de la frontière sont les mêmes.

Le long de la frontière américano-mexicaine, les concentrations d'ozone troposphérique demeurent une source de préoccupation dans certaines régions. Même si, en 2005, dans la vallée du Rio Grande, on n'a jamais dépassé la norme binationale sur huit heures, d'autres stations de surveillance installées dans des paires de villes frontalières ont enregistré des dépassements : d'une journée à Ambos Nogales, de six jours à Ciudad Juárez/El Paso, de onze jours à Tijuana/San Diego et de 24 jours dans la vallée Mexicali/Imperial. Même si, globalement, on respecte davantage la norme de concentration d'ozone, la vallée Mexicali/Imperial et les villes de Tijuana/San Diego sont demeurées régulièrement au-dessus de cette norme entre 2001 et 2005.

Le transport de l'ozone et des émissions de polluants précurseurs s'étend au-delà de l'Amérique du Nord. Celle-ci est une source d'ozone troposphérique pour l'Europe, au même titre que l'Asie pour l'Amérique du Nord. À plus grande échelle, les concentrations d'ozone troposphérique augmentent sur toute la planète, ce qui donne lieu à des concentrations d'ozone « de fond », même dans les régions éloignées qui ne sont pas directement touchées par l'activité humaine. Une analyse rétrospective de données recueillies au XVIII^e siècle en Europe révèle que les concentrations d'ozone dans l'hémisphère Nord pourraient avoir doublé au cours du dernier siècle, en raison de l'industrialisation massive qui s'est produite. Les actuelles concentrations d'ozone de fond en Amérique du Nord sont d'environ 30 à 40 parties par milliard.

Quels sont les liens avec d'autres enjeux environnementaux en Amérique du Nord?

L'ozone et ses polluants précurseurs sont liés aux particules (autre composant du smog) et aux phénomènes d'acidification, d'eutrophisation et de changement climatique.

Matières particulaires

Lorsque le nitrate, issu de l'oxydation du dioxyde d'azote (NO_2), est combiné à d'autres composés dans l'atmosphère (par exemple l'ammoniac), il devient une source importante de formation secondaire de particules fines ($\text{PM}_{2,5}$). Les COV sont eux aussi un polluant précurseur de la formation secondaire de $\text{PM}_{2,5}$. L'ozone et les particules contiennent des gaz précurseurs communs, et la réduction de n'importe lequel de ces précurseurs peut avoir des effets complexes, et parfois négatifs, sur les concentrations d'ozone ou de particules. Les efforts visant à étudier et à réduire les concentrations d'ozone et de particules font souvent partie intégrante des programmes de gestion visant à éviter toute répercussion négative sur la qualité de l'air.

Acidification

Les oxydes d'azote se forment principalement à partir de l'azote libéré durant les processus de combustion. L'oxyde d'azote émis durant la combustion s'oxyde rapidement et devient du NO_2 dans l'atmosphère. Le NO_2 se dissout alors dans l'air sous forme de vapeur d'eau pour donner naissance à l'acide nitrique (HNO_3), et interagit avec d'autres gaz et particules présents dans l'air, ce qui crée des particules baptisées nitrites et nitrates et d'autres produits risquant de nuire à la santé des populations et à leur environnement.

Le NO_2 sous sa forme non transformée, ainsi que l'acide nitrique issu de la transformation du NO_2 , peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine ou l'environnement, notamment en endommageant la végétation, les immeubles et les matériaux et en contribuant à l'acidification des écosystèmes aquatiques et terrestres.

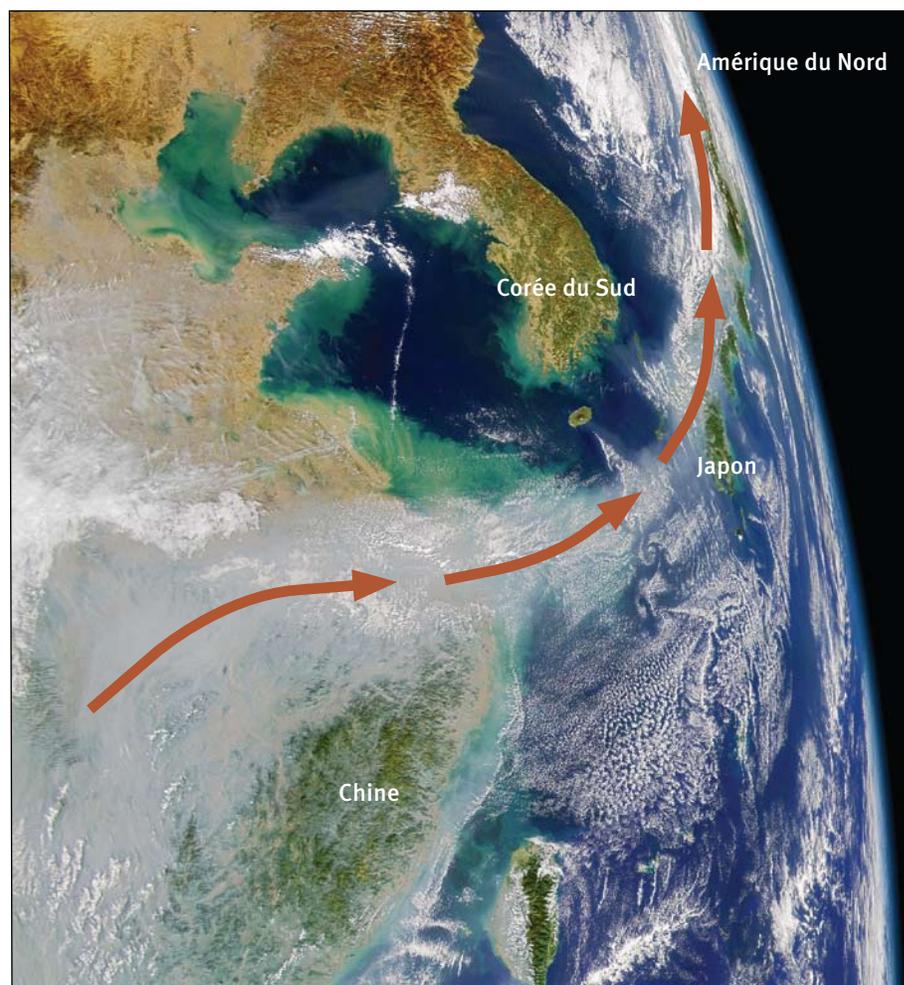
Eutrophisation

Non seulement les émissions d'azote entraînent la formation de dépôts acides, mais elles peuvent aussi agir comme nutriments dans les écosystèmes, ce qui provoque l'eutrophisation ou le « surenrichissement » des sols et des plans et cours d'eau.

Changements climatiques

Lorsqu'il est présent dans la haute troposphère, l'ozone est un gaz à effet de serre très efficace. Les stratégies visant à réduire les concentrations d'ozone dans les zones urbaines et à l'échelle régionale permettent sans doute de limiter la contribution de l'ozone troposphérique à l'effet de serre et au réchauffement planétaire. 🦋

Étude de cas – Transport des polluants provenant d'Asie vers l'Amérique du Nord



Source: NASA.

Une récente étude a révélé que le transport transpacifique de polluants en provenance d'Asie avait une incidence sur la qualité de l'air en Amérique du Nord au printemps et en été. Même les petites quantités d'émissions se déplaçant de l'Asie à l'Amérique du Nord en été peuvent avoir d'importantes répercussions pour la gestion de la qualité de l'air.

Durant l'été, les émissions provenant d'Asie et d'Europe représentent entre 4 et 7 parties par milliard en volume (ppbv) des concentrations d'ozone observées l'après-midi dans l'air de surface aux États-Unis, ce qui dépasse la norme de qualité de l'air. Si les émissions anthropiques provenant d'Asie triplent entre 1985 et 2010 (comme on s'y attend), la concentration d'ozone troposphérique aux États-Unis pourrait augmenter de 1 à 5 ppbv durant l'été.

Le transport transpacifique à grande distance des polluants asiatiques atteint son niveau maximal au printemps, en raison de l'intense activité cyclonique et des forts vents d'ouest. La plus forte quantité de polluants asiatiques est transportée dans la troposphère moyenne; elle peut traverser le Pacifique en cinq à dix jours. Durant l'été, l'« exportation » de polluants asiatiques par voie de convection vient s'ajouter à celle que créent les cyclones de latitude moyenne. Le transport transpacifique se fait principalement dans la troposphère moyenne et la haute troposphère – sa durée moyenne est de six à dix jours.

Selon cette analyse, les masses d'air asiatique contenaient des concentrations élevées de particules et d'autres produits chimiques, ce qui confirme l'influence dominante des émissions issues de la combustion au-dessus de l'Asie orientale. Des concentrations élevées de méthanol et d'acétone ont révélé que les émissions naturelles se combinaient au flux de polluants.