

Ozone et smog estival: les changements climatiques menacent les succès d'aujourd'hui

La concentration d'ozone dans l'air en Suisse n'a que légèrement diminué malgré des mesures de protection de l'air appliquées avec succès. Par conséquent, le smog estival est toujours nocif pour la santé de l'homme. Avec le réchauffement climatique, les étés caniculaires tels que ceux de 2003 et 2015 pourraient devenir plus fréquents et à nouveau aggraver les problèmes d'ozone.

La couche d'ozone et le smog estival sont depuis les années 90 des thèmes environnementaux souvent abordés en Suisse. Contrairement à l'ozone stratosphérique, qui forme la « couche d'ozone » et nous protège des rayons UV du soleil nocifs, cette « factsheet » se concentre sur la pollution par l'ozone de surface.

Qu'est-ce que l'ozone et quels sont ses effets ?

L'ozone comme polluant atmosphérique se forme dans la troposphère (couche d'air s'étendant de la surface jusqu'à environ 10 km d'altitude) quand les hydrocarbures sont décomposés en présence d'oxydes d'azote sous l'action de la lumière du soleil. Pour réduire la formation d'ozone, les émissions de polluants précurseurs – tant les hydrocarbures que l'oxyde d'azote – doivent être diminuées. La confédération et les cantons ont par conséquent pris des mesures

depuis le milieu des années 80 afin de réduire les émissions de ces précurseurs d'ozone.

L'ozone est un oxydant irritant pour la muqueuse des yeux, du nez et des voies respiratoires. De fortes concentrations d'ozone peuvent entraîner un accroissement des maladies des voies respiratoires; l'ozone peut également aggraver les symptômes chez les personnes souffrant d'allergies ou d'asthme. De plus, les consultations à l'hôpital et la mortalité liées aux maladies respiratoires augmentent au sein de la population. Il n'est pas encore clairement établi si ces conséquences sont dues aux effets de l'ozone ou d'autres photo-oxydants, dont les concentrations sont en corrélation étroite avec l'ozone.¹

Même si l'ozone affecte la santé des êtres humains, il a malgré tout des impacts positifs sur la qualité de l'air. Par l'intermédiaire de processus chimiques complexes, l'ozone engendre la formation de radicaux hydroxyles qui accélèrent la dissipation de différents polluants dans l'atmosphère.

Le smog estival nuit à la santé

La combinaison entre canicule et smog estival peut provoquer des sérieux problèmes de santé chez certaines catégories de personnes. C'est par exemple pour ces raisons que la canicule de 2003 a entraîné la mort de 1000 à 1400 personnes aux Pays-Bas, dont 400 à 600 peuvent être mis sur le compte de la pollution de l'air due à l'ozone et aux particules fines.² En Suisse, l'augmentation de la mortalité liée à la chaleur a été estimée à 7% lors de la canicule de l'été 2003.³

Dans l'agriculture les fortes concentrations actuelles d'ozone entraînent des pertes considérables dans les récoltes.⁴ Par ailleurs, l'ozone situé dans les basses couches de l'atmosphère est un gaz à fort effet de serre. Après le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), l'ozone contribue le plus fortement au réchauffement climatique provoqué par l'homme dans la haute troposphère.⁵

Recul marqué des précurseurs d'ozone

D'une part, les oxydes d'azote sont responsables de la formation d'ozone dans la troposphère, d'autre part, un nombre important de composés organiques volatiles (COV) y contribuent également.⁵ Les oxydes d'azotes et certains COVs, comme le benzol, sont nocifs pour la santé de l'homme. La réduction des précurseurs d'ozone de surface démontre le succès de la politique suisse de protection de l'air (cf. figure 2). Les mesures appliquées à partir du milieu des années 80 ont entraîné une réduction d'environ 60% des concentrations d'oxydes d'azote. Les COVs (à part le méthane) ont même reculé d'environ 70% depuis le milieu des années 80.

Les émissions ainsi que les concentrations des précurseurs d'ozone dans l'air ont diminué dans tous les pays en Europe. Les changements en Suisse sont parmi les plus importants et correspondent environ à ceux de l'Allemagne et de l'Angleterre.⁶

Les limites d'ozone toujours souvent dépassées

Malgré les succès obtenus dans la réduction des précurseurs d'ozone, la valeur limite d'ozone continue à être dépassée (cf. figure 3). La valeur limite horaire devrait au maximum être franchie une fois par année. En même temps, les valeurs d'ozone maximales ont significativement diminué. Les valeurs moyennes supérieures à 240 µg/m³ n'ont que peu été mesurées ces dernières années. Les concentrations d'ozone ainsi que la réduction des valeurs d'ozone sont les plus importantes au sud de la Suisse (cf. figure 5). Une situation qui s'explique probablement principalement par l'influence de l'air provenant de la région fortement industrialisée de Milan.

Les raisons de la faible réduction des concentrations d'ozone

Plusieurs raisons expliquent le changement relativement faible des concentrations d'ozone de surface comparativement aux polluants précurseurs: l'ozone est un polluant secondaire. La formation d'ozone dépend de manière complexe des concentrations de polluants précurseurs, et par exemple aussi des rapports entre les concentrations d'oxydes d'azote et les concentrations de COVs dans l'air. De plus, le développement de la concentration globale d'ozone est un élément important. Les conditions météorologiques jouent également un rôle notable.

Les précurseurs d'ozone provenant d'Asie du Sud-Est

Une des causes essentielles de la faible réduction de l'ozone de surface sur le Plateau suisse est l'accroissement des concentrations d'ozone dans la troposphère libre. Elles sont notamment mesurées sur le Jungfraujoch. Dans l'arc alpin, les montagnes accélèrent l'échange de l'ozone entre les couches d'air basses et élevées.⁷

Au court des années 90, les concentrations d'ozone sur le Jungfraujoch (3580 mètres au-dessus de la mer) n'ont pas diminué, elles ont même augmenté (v. figure 4).⁸ Une légère diminution a été observée à partir du début des années 2000. Un fait qui n'est pas lié à l'évolution des émissions des précurseurs d'ozone en Suisse ou dans les pays environnants, mais bien au transport intercontinental d'ozone et des gaz précurseurs.

2 Fischer et al., 2004

3 Grize et al., 2005

4 HTAP, 2010, Part A: Références voir pp. 228ff

5 IPCC, 2013

6 EEA, 2009; EMEP, 2016

7 HTAP, 2010, Part C

8 Brönnimann et al., 2002; Cui et al., 2011

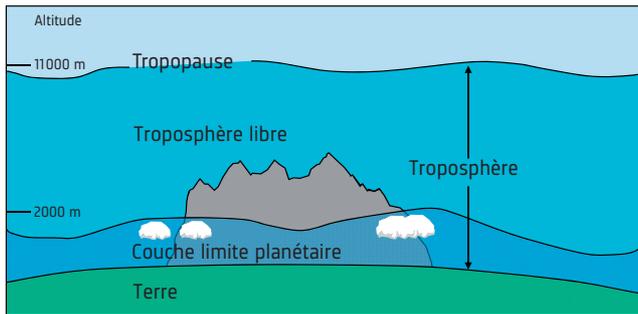


Figure 1: Représentation schématique de la structure de la troposphère. L'air de la troposphère libre est généralement mesuré à l'altitude du Jungfrauoch (3580 mètres au-dessus de la mer).

Sur le Jungfrauoch, la partie supérieure de la couche d'air du Plateau est généralement mesurée, nommée « troposphère libre » (cf. Figure 1). L'air de la troposphère libre se déplace beaucoup plus rapidement et peut parcourir des distances bien plus grandes que l'air du Plateau suisse (couche limite planétaire). Les échanges d'air entre la troposphère libre et la couche limite planétaire peuvent avoir limité l'augmentation d'ozone dans la troposphère libre et la diminution d'ozone sur le Plateau suisse.

L'air au Jungfrauoch est principalement transporté depuis l'Amérique du Nord en Europe par-dessus l'Atlantique. L'air au-dessus du contient nord-américain provient le plus sou-

vent du Pacifique. Cet air est souvent chargé de gaz précurseurs d'ozone en provenance d'Asie du Sud-Est où ces émissions ont fortement crû entre 1990 et 2010. Un tel transport intercontinental d'ozone et donc de gaz précurseurs a une grande influence sur la concentration d'ozone de surface en Europe.⁹ Parallèlement aux gaz précurseurs, les émissions globales de méthane¹⁰ sont par ailleurs décisives.

Le rôle du transport longue distance

L'augmentation des concentrations d'ozone au niveau des latitudes moyennes nord est probablement une des raisons qui expliquent que les valeurs d'ozone en Suisse n'ont que peu diminué malgré la réduction des précurseurs. Les recherches disponibles sur le transport intercontinental reposent principalement sur des modèles atmosphériques et chimiques de transport. Ils ne donnent pour le moment encore aucune réponse concluante à la question de savoir dans quelle mesure le transport intercontinental peut expliquer l'accroissement des concentrations d'ozone en des lieux éloignés de tout, tel que le Jungfrauoch.¹¹



9 HTAP, 2010, Part C

10 Le méthane est un hydrocarbure à longue durée de vie qui n'a que peu d'impact sur la formation d'ozone à l'échelle régionale mais contribue à la formation d'ozone à l'échelle hémisphérique.

11 Derwent et al., 2015

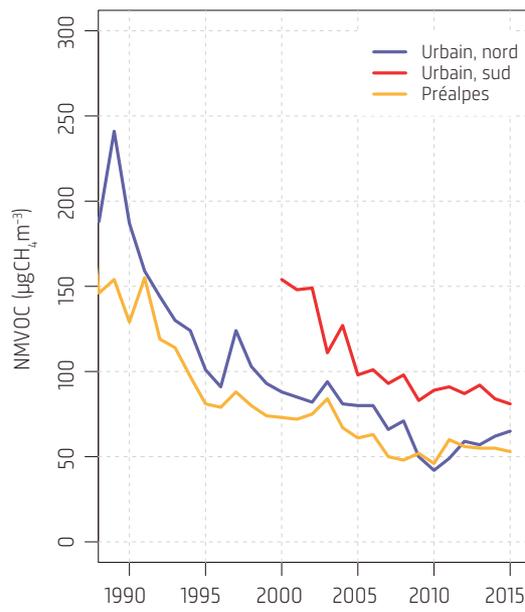
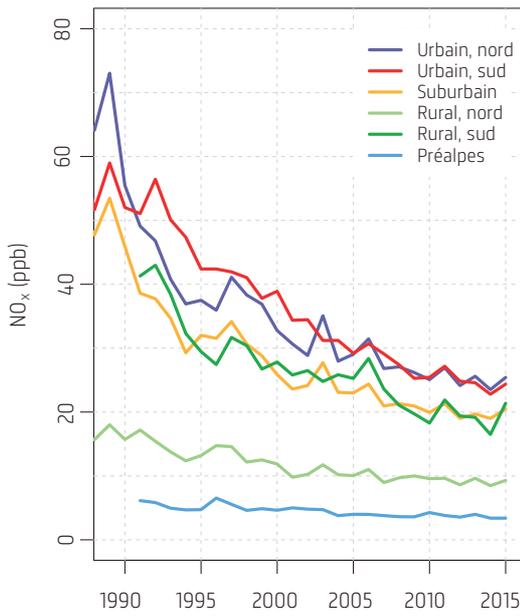


Figure 2: Concentration de précurseurs d'ozone dans l'air pour différents types d'environnement en Suisse. Gauche: oxyde d'azote (NO_x: NO + NO₂), Droite: COV (autres que méthane). Lieux représentatifs nord et sud, situés respectivement au Nord et Sud des Alpes (NABEL, OFEV/Empa).

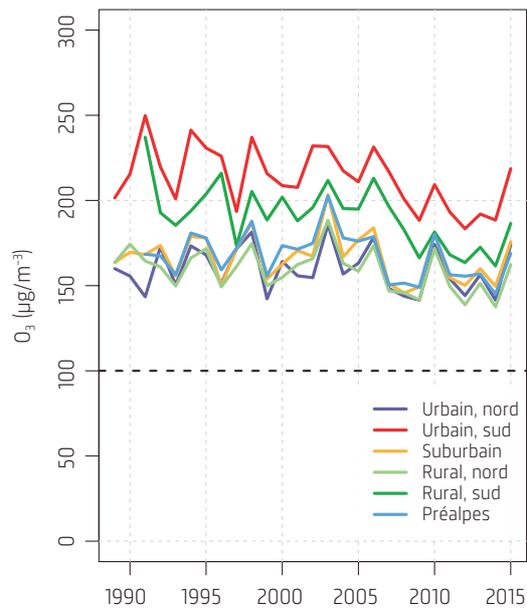
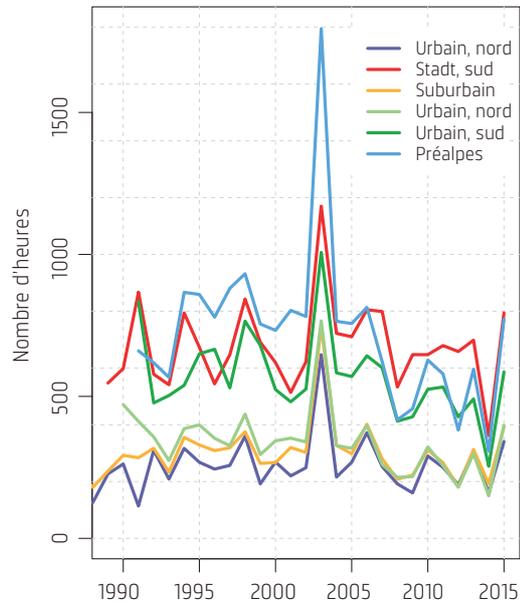


Figure 3: Concentrations d'ozone pour différents environnements en Suisse. Gauche: Fréquence de dépassement de la valeur limite horaire de 120 µg/m³ (nombre d'heures par année). Droite: Valeurs de concentrations d'ozone les plus élevées exprimées à travers le 98^e percentile des mois les plus riches en ozone. La ligne discontinue marque la valeur limite correspondante de l'ordonnance sur la protection de l'air (NABEL, OFEV/Empa).

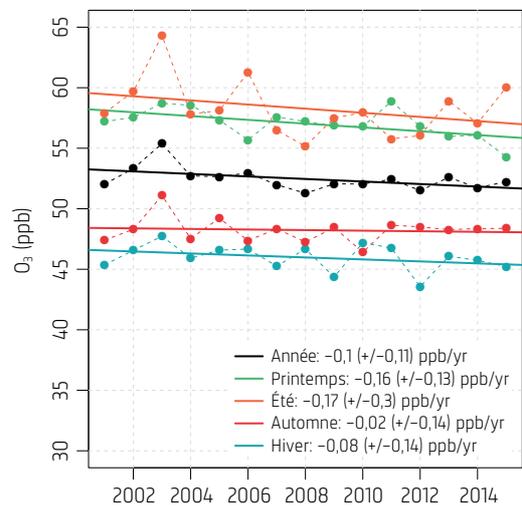
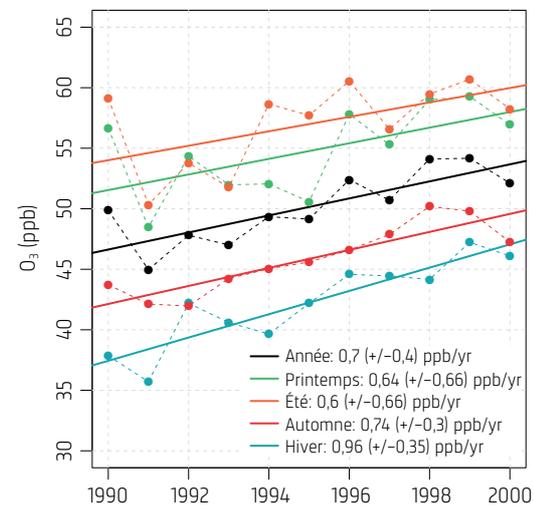


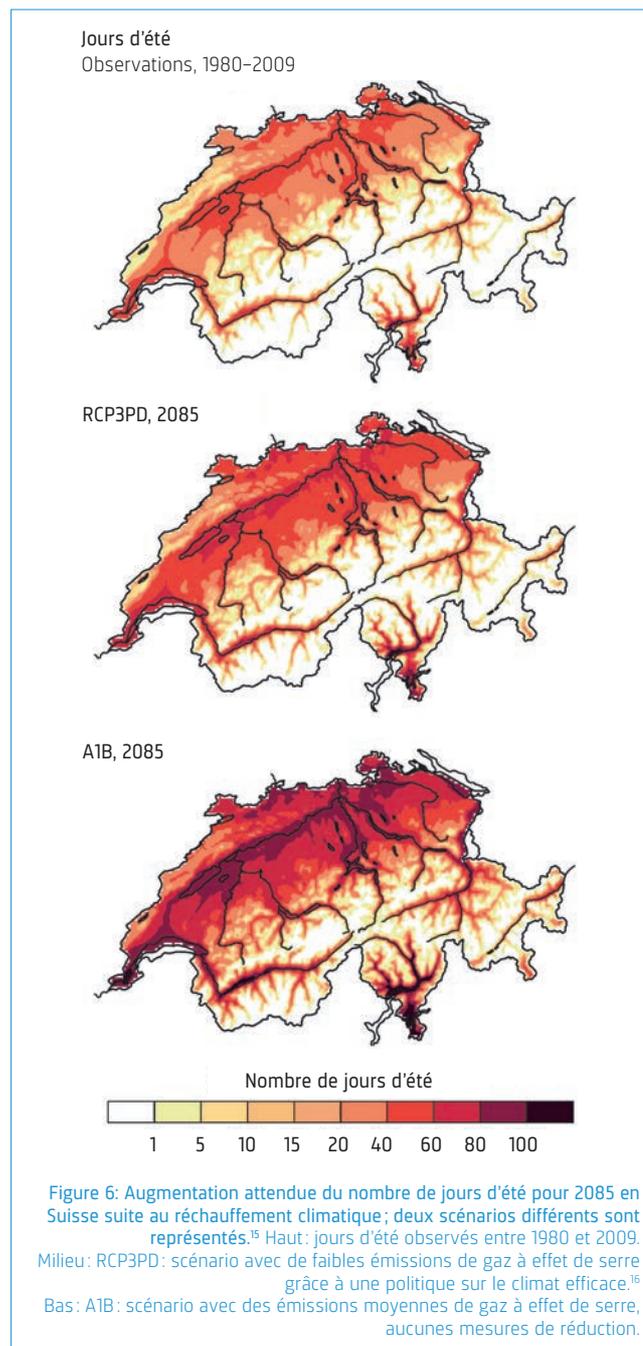
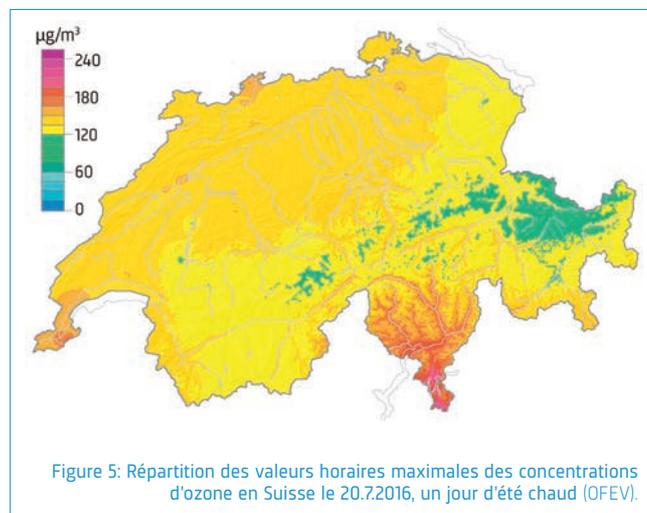
Figure 4: Concentrations d'ozone au Jungfrauoch (NABEL, OFEV/Empa).

L'influence du temps et du changement climatique

L'été caniculaire de 2003 et l'été particulièrement chaud de 2015 ont provoqué une augmentation des concentrations d'ozone par rapport aux années précédentes. Les températures de l'air augmentent en cas de situations de haute pression en été, et l'ozone se forme plus rapidement¹² et augmente de jour en jour¹³ dans les basses couches de l'air. Principalement à cause de l'absence de passage de fronts et par conséquent de brassage d'air. Il n'y a aucun apport d'air frais pauvre en ozone et l'air chargé en ozone n'est pas dissipé.

Il a été démontré dans des études scientifiques que, pendant l'été caniculaire de 2003, l'hydrocarbure isoprène a joué un rôle complémentaire important. L'isoprène est un hydrocarbure très réactif qui est émis par les plantes principalement lors des jours chauds et ensoleillés. C'est la raison pour laquelle la formation d'ozone est spécialement importante en période de canicule.

Les modèles climatiques actuelles prédisent unanimement une augmentation du nombre de jours d'été en Suisse (jours avec une température maximale supérieure à 25 °C) (cf. figure 6). L'ampleur de cette augmentation dépend de l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre, particulièrement du dioxyde de carbone (CO₂). En fonction du scénario, le nombre de jours d'été pourrait doubler dans les agglomérations du Plateau.



Valeurs d'ozone plus élevées par situation de beau temps

La formation d'ozone est fortement dépendante des conditions météorologiques. Des situations météorologiques chaudes, ensoleillées et persistantes génèrent des valeurs d'ozone élevées. Une augmentation de la fréquence de telles situations météorologiques est attendue à cause du réchauffement climatique. Cela signifie par conséquent une augmentation de la concentration moyenne d'ozone comme c'était le cas durant les étés caniculaires de 2003 et 2015.

¹² Baertsch-Ritter et al., 2004

¹³ Ordóñez, et al., 2005

¹⁴ Solberg et al., 2008; Vieno et al., 2010

¹⁵ CH2014-Impacts, 2014, p. 44

¹⁶ Nommé RCP2.6 dans le 5^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Recommandations

Afin que la population Suisse ait moins à subir le smog estival au cours de la deuxième moitié du XXI^e siècle, les recommandations suivantes devraient être appliquées :

- 1. Limiter le réchauffement climatique :** Une réduction rapide des émissions de gaz à effet de serre ralentit le réchauffement climatique et apporte une contribution à la réduction du smog estival en Suisse.
- 2. Réduire les émissions de méthane :** La réduction des émissions de méthane diminue la concentration globale d'ozone et ralentit le réchauffement climatique.
- 3. Améliorer la qualité de l'air en Asie du Sud-Est :** Étant donné que les précurseurs d'ozone sont transportés par l'air au-dessus des continents, l'amélioration de la qualité de l'air en Asie du Sud-Est – attendue grâce

au progrès technologique – diminue par conséquent le smog estival en Suisse. La Suisse pourrait apporter sa contribution grâce à un transfert de savoir-faire.

- 4. Moins d'oxyde d'azote :** Les valeurs maximales d'ozone mesurées le sont lors de situations de hautes pressions en été. Dans ce genre de situations météorologiques la contribution par le transport intercontinental est typiquement faible. Une réduction additionnelle de l'oxyde d'azote en Suisse est par conséquent nécessaire pour limiter efficacement la concentration d'ozone en période de canicule.

Afin de tester l'efficacité de ces mesures et de développer des stratégies d'adaptations durables et adéquates, des recherches quantitatives à l'aide de modèles numériques globaux et d'études interdisciplinaires sont nécessaires.

- Bärtsch-Ritter N, Keller J, Dommen J, Prevot ASH (2004) Effects of various meteorological conditions and spatial emission resolution on the ozone concentration and ROG/NOx limitation in the Milan area, *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 423-438.
- Brönnimann S, Buchmann B, Wanner H (2002) Trends in near surface ozone concentrations in Switzerland: the 1990s, *Atmos. Env.*, 36, 2841-2852.
- CH2014-Impacts (2014) Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp (www.ch2014-impacts.ch).
- Cui J, Pandey Deolal S, Sprenger M, Henne S, Staehelin J, Steinbacher M, Nedelec P (2011) Free Tropospheric Ozone Changes Over Europe as Observed at Jungfraujoch (1990-2008): An analysis based on backward trajectories, *J. Geophys. Res.*, 116, D10304, doi:10.1029/2010JD015154.
- Derwent RG, Utembe SR, Jenkin ME, Shallcross DE (2015) Tropospheric ozone production regions and the intercontinental origins of surface ozone over Europe, *Atm. Env.*, 112, 216-224.
- EEA (2009) Assessment of ground-level ozone in EEA member countries, with a focus on long-term trends, European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Technical report No 7/2009.
- EMEP (2016) Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012, Joint Report of the EMEP Task Force on Measurements and Modelling (TFMM), Chemical Co-ordinating Centre (CCC), Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E), Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W).
- Fischer PA, Brunekreef B, Lebret E (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, *Atm. Env.*, 38, 1083-1085.
- Grize L, Huss A, Thommen O, Schindler C, Braun-Fahrländer C (2005) Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, *Swiss Medical Weekly*, 135, 200-205.
- HTAP (2010) Part A: Hemispheric Transport of Air Pollution 2010. Air Pollution Studies No. 17. United Nations, New York and Geneva.
- HTAP (2010) Part C: Hemispheric Transport of Air Pollution 2010. Part D: Answers to Policy-Relevant Questions, Air Pollution Studies No. 20. United Nations, New York and Geneva.
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- NABEL, BAFU/Empa vgl. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luft-fremdstoffe (NABEL), Luftbelastung 2105, BAFU, Bern.
- Ordóñez C, Mathis H, Furger M, Henne S, Hüglin C, Staehelin J, Prévôt ASH (2005) Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1187-1203.
- Solberg S, Hov Ø, Søvde A, Isaksen ISA, Coddeville P, De Backer H, Forster C, Orsolini Y, Uhse K (2008) European surface ozone in the extreme summer 2003, *J. Geophys. Res.*, 113, D07307, doi:10.1029/2007JD009098.
- Vieno M, Dore AJ, Stevenson DS, Doherty R, Heal MR, Reis S, Hallsworth S, Tarrason L, Wind P, Fowler D, Simpson D, Sutton MA (2010) Modelling surface ozone during the 2003 heat-wave in the UK., *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7963-7978, doi:10.5194/acp-10-7963-2010.
- WHO (2015) WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005, Summary of risk assessment, Geneva, Switzerland.

IMPRESSUM

AUTEURS : Prof. Dr Johannes Staehelin (ETH Zürich), Dr Christoph Hüglin (Empa), Prof. Dr Stefan Brönnimann (Universität Bern), Prof. Dr Nino Künzli (Swiss TPH).

EXPERTS : Prof. Dr Jürg Fuhrer (Agroscope), Dr Lukas Emmenegger (Empa), Dr Ulrich Krieger (ETH Zürich), Meltem Kutlar Joss (Swiss TPH), Dr Urs Neu (ProClim, SCNAT), Dr André Prévôt (Paul Scherrer Institut), Dr Dominique Ruffieux (MeteoSchweiz)

TRADUCTION : Mikhaël Schwander

PHOTOS : Bruno Neiningger/shutterstock.com. Les deux photos illustrent le smog estival: avec l'ozone, des particules sont également formées, qui contribuent à diminuer la visibilité. La première photo provient du Prof. Dr. Bruno Neiningger (ZHAW) et a été prise depuis un avion de recherche lors de la campagne FORMAT qui a eu lieu dans le sud de la Suisse et l'Italie du Nord en 2003. La deuxième photo montre Shanghai à l'aube, un jour du mois d'août.

MISE EN PAGE : Olivia Zwygart; **GRAFIQUE :** Lukas Hüglin

La factsheet a été rédigée par les auteurs et expertisée par les experts sous la responsabilité de la Commission chimie et physique de l'atmosphère (ACP) de l'Académie suisse des sciences naturelles.

Un projet de l'Académie suisse des sciences naturelles

sc | nat 

Proposition de citation: Académie suisses des sciences (2016) Ozone et smog estival: les changements climatiques menacent les succès d'aujourd'hui. Swiss Academies Factsheets 11 (5).

www.academies-suisse.ch