

_Qualité de l’Air :

**_Comment évaluer les politiques de gestion de qualité de
l’air, à court et long terme ?**

_L’intégration du facteur climatique

[23 septembre 2014]

L'INERIS développe un outil d'évaluation des politiques de qualité de l'air intégrant le facteur « climat »

Paris, 23 septembre 2014 – L'INERIS conduit depuis plusieurs années des travaux destinés à évaluer l'impact des politiques de gestion de la qualité de l'air. L'expertise de l'Institut est particulièrement sollicitée cette année, dans le cadre des discussions engagées autour du réexamen de la politique européenne dans ce domaine. Ainsi des simulations ont été effectuées sur la qualité de l'air que l'on obtiendrait en 2030 selon diverses politiques étudiées par l'Union européenne.

Toutefois, d'autres politiques sont aussi discutées, celles qui visent à atténuer le changement climatique : ces politiques peuvent interagir avec les précédentes. L'Institut et ses partenaires ont donc développé, dans le cadre du projet de recherche SALUT'AIR, une chaîne de modélisation intégrant le changement climatique dans l'évaluation sur la longue durée des politiques de gestion de la qualité de l'air. Des projections à l'horizon 2050 ont été faites sur la base de scénarios d'institutions internationales. Ces projections montrent qu'il y a *in fine* plus de synergies que d'antagonismes entre les politiques de lutte contre le réchauffement climatique et de réduction des émissions polluantes.

L'expertise que l'Institut met au service du ministère en charge de l'Ecologie a pour vocation d'évaluer les conséquences des scénarios de gestion de la qualité de l'air, par le biais de simulations numériques de la pollution atmosphérique future. Le modèle de chimie-transport CHIMERE, co-développé par l'INERIS et l'Institut Pierre-Simon Laplace (CNRS/CEA/UVSQ), est au cœur de ce dispositif.

Ce modèle est opéré, à de petites échelles de temps, dans le système PREV'AIR, qui contribue à l'orientation des choix politiques au plan national, et réalise la prévision et le suivi des épisodes de pollution en France. Au niveau européen, CHIMERE est utilisé dans le cadre des évaluations court-moyen termes (2020-2030) des politiques futures. Dans une approche plus prospective, des travaux de recherche de l'Institut sur les politiques de gestion à long terme, à l'horizon 2050, ont recours au modèle de chimie transport, dans l'élaboration d'une chaîne de calcul intégrant les phénomènes de changement climatique.

Des simulations pour évaluer l'impact de la révision de la Directive « Plafonds »

En décembre 2013, la Commission Européenne a proposé un nouveau « paquet qualité de l'air », qui pose notamment de nouveaux objectifs à atteindre d'ici à 2030 pour améliorer la qualité de l'air. Pour ce faire, il est envisagé de réviser la Directive sur les plafonds d'émissions nationaux.

Dans le cadre de cette révision, les équipes de l'Institut ont réalisé des simulations de qualité de l'air à l'horizon 2030 sur la base de scénarios correspondant aux hypothèses de réduction d'émissions (dioxyde de soufre, ammoniac, Composés Organiques Volatiles, oxydes d'azote, particules PM_{2,5}, méthane) qui font actuellement l'objet de discussions.

Les simulations, effectuées sur l'ozone et les particules (PM_{2,5} et PM₁₀), montrent comment le respect des plafonds permettrait globalement de réduire la pollution atmosphérique sur la plus grande partie de l'Europe, notamment la pollution particulaire.

Le co-bénéfice des politiques combinées « qualité de l'air/climat » d'ici à 2050

Le nouveau paquet qualité de l'air se place dans une logique de gestion combinée, qui prend acte des phénomènes d'interaction entre pollution atmosphérique et changement climatique. Il est aujourd'hui admis que dans de nombreux cas, les mesures de lutte contre le réchauffement du climat et les actions destinées à limiter la pollution atmosphérique interagissent entre elles, sans qu'il soit toujours possible de savoir si ces interactions sont positives ou négatives.

Le projet SALUT'AIR, coordonné par l'INERIS, associe le CNRS (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement et Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Institut Pierre Simon Laplace) et l'Université de Strasbourg (Laboratoire Image Ville Environnement). Ce projet, qui a bénéficié du soutien financier de l'ADEME, du MEDDE et du programme PRIMEQUAL, a pour objectif de développer un système de prédiction de la qualité de l'air sur le long terme, intégrant le facteur « changement climatique ».

Les équipes de recherche ont pu valider ce système par un exercice de projections de qualité de l'air à l'horizon 2050. Cet exercice de projection montre, sur l'ozone comme les particules fines, que la mise en œuvre d'une politique de gestion de la qualité de l'air reste le facteur le plus influant sur l'évolution des concentrations globales de polluants, malgré le contexte de changement climatique et de transport de polluants sur une longue distance..

Par ailleurs, les simulations mettent en lumière le rôle des politiques d'atténuation du réchauffement climatique, qui apportent un bénéfice complémentaire important aux politiques de qualité de l'air. Sur le long terme, il semble que les effets de synergies l'emportent sur les effets antagonistes.

Il est enfin observé que le transport à longue distance joue un rôle très important dans l'évolution de la qualité de l'air, d'où le bien-fondé de poursuivre le développement de politiques coordonnées au niveau international.

Le projet SALUT'AIR a servi, *in fine*, à développer une chaîne de modélisation unique de la qualité de l'air, qui intègre le changement climatique et le facteur « pollution longue distance ». Une technique novatrice de correction d'incertitudes a été développée, ce qui a permis d'améliorer la précision des simulations à un niveau de résolution spatiale encore jamais atteint (12 km).

Le rôle des simulations dans l'évaluation des politiques de gestion de la qualité de l'air

Les travaux actuels de l'INERIS s'inscrivent dans la perspective du réexamen de la politique européenne de qualité de l'air, principalement fondée sur la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant et sur la directive 2001/81/CE sur les plafonds nationaux d'émissions pour certains polluants. En décembre 2013, la Commission Européenne a proposé un nouveau « paquet qualité de l'air » visant à mettre en application des objectifs de réduction de la pollution atmosphérique pour diminuer l'exposition des populations et des écosystèmes.

Le nouveau « paquet qualité de l'air »

Le programme « air pur pour l'Europe » prévoit des mesures garantissant la réalisation à court terme (d'ici à 2020) des objectifs existants d'amélioration de la qualité de l'air et le respect des engagements pris par l'Europe avec l'adoption en 2012 de la version modifiée du protocole de Göteborg de la convention sur le transport à longue distance de la pollution atmosphérique (CPATLD)¹. Le programme « air pur pour l'Europe » pose en outre de nouveaux objectifs à atteindre d'ici à 2030. Par rapport à 2005, le programme propose une réduction de 52% des incidences de la qualité de l'air sur la santé (décès prématurés dus aux particules et à l'ozone) et une baisse de 35% de la superficie d'écosystèmes dépassant les limites établies concernant l'eutrophisation².

Pour atteindre ces objectifs, il est donc envisagé, entre autres, de réviser la Directive sur les plafonds nationaux d'émissions. La révision s'attache notamment à renforcer la cohérence entre les normes de gestion de la qualité de l'air et les mesures d'atténuation du changement climatique. Pour 2030, il sera fixé des obligations de réduction des émissions sur les quatre polluants initiaux (SO₂, NO_x, COV et NH₃) et sur deux nouveaux polluants : les particules fines (PM_{2,5}) et le méthane (CH₄), un des principaux gaz à effet de serre. Pour les particules, l'accent est porté sur la réduction des émissions de noir de carbone, polluant qui a également un impact sur le climat.

L'évaluation des politiques de gestion : le modèle CHIMERE

Dans le cadre de cette révision de la directive « Plafonds », des discussions ont été engagées avec les Etats-membres. C'est dans cette perspective que les modèles de simulation de qualité de l'air, éventuellement couplés à des analyses économiques du rapport coût-bénéfice, peuvent être utilisés pour anticiper les conséquences de la mise en œuvre de politiques de gestion et ainsi orienter la décision politique.

Le modèle de chimie-transport CHIMERE est au cœur du dispositif d'évaluation mis en place par l'INERIS en appui du ministère en charge de l'Ecologie. Ce modèle est le fondement des trois volets d'expertise de l'Institut : à de petites échelles de temps, il est opéré dans le système de prévision de qualité de l'air PREV'AIR (www.prevair.org), qui contribue à l'orientation des politiques de gestion au plan national, et réalise la prévision et le suivi des épisodes de pollution en France. Au niveau européen, CHIMERE est utilisé dans le cadre des évaluations court-moyen termes (2020-2030) des politiques futures. Dans une approche plus prospective, des travaux de recherche sur les politiques de gestion à long terme, à l'horizon 2050, ont recours au modèle de chimie-transport dans une chaîne de calcul intégrant les phénomènes de changement climatique.

Les principaux polluants atmosphériques

Ozone (O₃)

Particules (PM_{2,5} et PM₁₀)

Oxydes d'azote (NO_x)

Dioxyde de soufre (SO₂)

Composés Organiques Volatiles (COV), dont les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et le benzène (C₆H₆)

Ammoniac (NH₃)

Monoxyde de carbone (CO)

Métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium, nickel, chrome, cuivre)

Les particules

Composées notamment de substances organiques, métalliques ou minérales, les particules se présentent très fréquemment sous forme d'aérosol, ensemble de particules solides (poussière, fumée) ou liquides (brouillard) en suspension dans l'air. Les effets des particules sur la santé dépendent de leur taille (elles pénètrent d'autant plus profondément dans l'appareil respiratoire que leur diamètre est faible) et de leur composition chimique (elles peuvent contenir des toxiques, métaux ou HAP).

Les particules *primaires* sont émises directement par l'environnement ou les activités humaines. Les particules *secondaires* sont formées dans l'air ambiant par des processus chimiques complexes entre les particules primaires et des composés gazeux. Le soufre, les NO_x, l'ammoniac ou les COV sont des précurseurs de particules secondaires.

¹ Cette convention a été ouverte sous l'égide des Nations-Unies et signée en 1979 par 34 Etats. Elle est entrée en vigueur en 1983. Parmi les 8 protocoles, le protocole de Göteborg, établi en 1999 et révisé en 2012, concerne la réduction des phénomènes d'acidification, d'eutrophisation et la réduction du niveau d'ozone troposphérique. Il est entré en vigueur en mai 2005.

² Processus d'accumulation, dans un milieu, d'éléments nutritifs (comme l'ammoniac ou les azotes) qui peut porter atteinte à la biodiversité en favorisant la croissance de certaines espèces au détriment d'autres.

Des simulations pour évaluer l'impact de la révision de la Directive « Plafonds »

L'expertise de l'INERIS est mobilisée en 2014 sur l'analyse de l'impact des scénarios de gestion de la qualité de l'air à court-moyen terme. Les équipes de l'Institut ont réalisé des simulations de qualité de l'air à l'horizon 2030 sur la base de scénarios correspondant aux obligations de réduction d'émissions discutées dans le cadre de la révision des plafonds nationaux.

Les simulations, effectuées sur l'ozone et les particules ($PM_{2,5}$ et PM_{10}), montrent que le respect des plafonds d'émissions proposés permettrait globalement de réduire la pollution atmosphérique et de respecter les objectifs de qualité de l'air sur la plus grande partie de l'Europe, notamment sur les concentrations en particules.

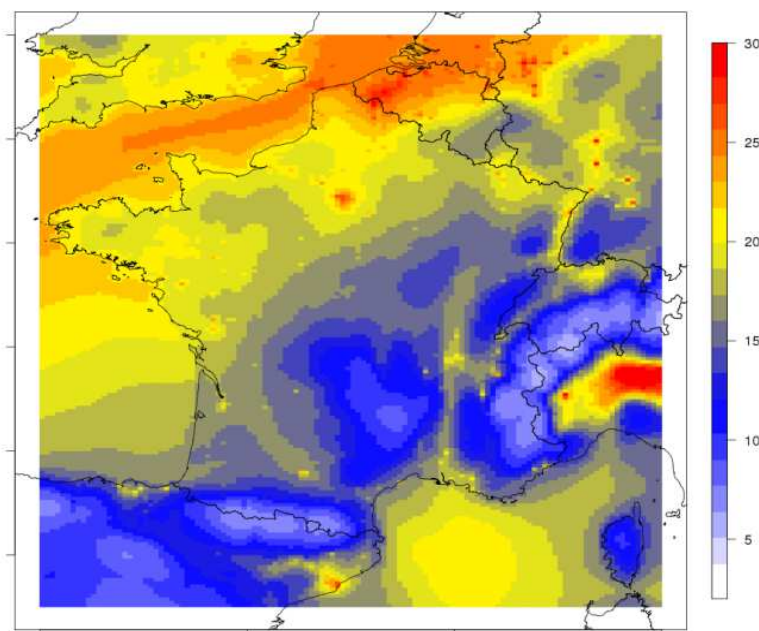
Toutefois, on observera sans surprise une diminution de l'effet de titration de l'ozone dans les zones urbaines : la formation d'ozone, polluant secondaire, dépend du rapport entre la concentration d'oxydes d'azote et la concentration de composés organiques dans l'air ambiant. Dans l'atmosphère des villes, où les émissions de NO_x sont élevées, la forte présence d'oxydes d'azote contribue à détruire l'ozone. La réduction des émissions de NO_x prévue dans les hypothèses de gestion aura donc pour effet d'augmenter localement les concentrations d'ozone dans les zones urbaines. A noter, cela n'affecte pas la tendance générale à la diminution des concentrations d'ozone en Europe.

Cela dit, le respect des plafonds d'émissions proposés ne suffira pas : certaines zones fortement urbanisées resteront des « points chauds » de pollution, qui nécessiteront des mesures spécifiques pour respecter les valeurs limites et objectifs de qualité de l'air fixés. C'est le cas en Europe du Benelux et de la Vallée du Pô en Italie. En France, sont identifiées la région parisienne, les zones urbaines de Nord-Pas de Calais, de la région Rhône-Alpes, d'Alsace et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

L'ozone

Ce gaz est un polluant dit secondaire, car il est issu d'un processus de transformation chimique déclenché par l'interaction d'autres polluants émis par l'activité humaine (NO_x et COV, notamment les hydrocarbures) en présence du rayonnement solaire (UV). Ces polluants sont appelés précurseurs de l'ozone.

L'ozone est à la fois un GES et un des polluants ayant la plus forte influence sur la qualité de l'air : il peut créer une gêne respiratoire, des irritations oculaires et des altérations pulmonaires. L'ozone est, en outre, connu pour son impact négatif direct sur la végétation.



Concentrations moyennes annuelles en PM_{10} attendues en 2030 (en $\mu g/m^3$)
en appliquant la réglementation

Pourquoi intégrer le facteur climatique dans l'évaluation des politiques de gestion?

Pendant longtemps, les stratégies de gestion de la qualité de l'air et du climat ont été développées de manière différenciée, pour de multiples raisons. D'un point de vue scientifique, les propriétés physico-chimiques des polluants et des GES conduisent à les étudier séparément : les GES ont des temps de résidence très longs dans l'atmosphère, à l'inverse des polluants atmosphériques ; leur distribution spatiale est différente.

En termes de politiques de gestion, le problème posé par l'augmentation des GES dans l'air ambiant nécessite une réponse à l'échelle planétaire alors que la gestion de la qualité de l'air peut être circonscrite à une zone locale (ville, quartier...) ou régionale. Les politiques de gestion de la qualité de l'air avaient jusqu'à récemment un objectif d'impact à court et moyen terme, tandis que le changement climatique ne s'envisage que sur un temps très long. Les priorités d'action sont fortement différenciées, du fait des effets distincts des émissions : la plupart des GES (à l'exception notable de l'ozone) ont un impact très faible sur la santé humaine, alors que la question sanitaire est prédominante dans le cas des mesures visant à réduire les polluants.

La question des interactions entre climat et qualité de l'air

Les propositions du nouveau paquet qualité de l'air en 2013 se placent dans une logique de politique de gestion combinée, qui prend acte des phénomènes d'interaction entre pollution atmosphérique et changement climatique mis en évidence par la communauté scientifique. L'évolution du climat, qui modifie les caractéristiques physiques de l'atmosphère, a une influence sur la formation des polluants dans l'air (par exemple avec l'augmentation de la fréquence d'épisodes météorologiques extrêmes). Par ailleurs, certains polluants ont une influence sur le climat car ils perturbent l'équilibre des énergies entrantes et sortantes de l'atmosphère terrestre (bilan radiatif).

Dans les politiques climatiques et de gestion de la qualité de l'air, certaines actions sont conçues pour influencer l'un des deux phénomènes sans nécessairement prendre l'autre en considération. Il est aujourd'hui admis que dans de nombreux cas, les mesures de lutte contre le réchauffement du climat et les actions destinées à limiter la pollution atmosphérique interagissent entre elles, sans qu'il soit toujours possible de savoir si ces interactions sont positives ou négatives.

Les politiques climatiques ont un impact sur la qualité de l'air, car les mesures d'efficacité énergétique modifient les activités humaines, ce qui a pour effet d'influer sur les émissions de polluants et *in fine* de modifier les réactions chimiques dans l'atmosphère. De leur côté, les mesures de réduction des émissions de polluants ont un effet sur les émissions de GES (ne serait-ce que sur l'ozone, qui est à la fois un polluant et un GES).

L'intérêt des simulations dans la gestion combinée des politiques publiques

Des travaux ont été engagés, notamment par l'INERIS, pour étudier l'intérêt des politiques combinées traitant de ces deux questions. En effet, certaines décisions se révèlent positives à la fois pour le changement climatique et l'amélioration de la qualité de l'air. Mais les effets positifs ne se cumulent pas toujours. D'autres mesures sont susceptibles d'avoir un impact positif sur l'un des deux phénomènes et négatif sur l'autre.

Le projet SALUT'AIR, coordonné par l'INERIS et associant le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, le Laboratoire de Météorologie Dynamique et le Laboratoire Image Ville Environnement permet de fournir un outil d'évaluation qui intègre le facteur climatique dans les simulations de qualité de l'air à long terme, en cohérence avec les principes posés par les évolutions réglementaires actuelles.

Les principaux gaz à effet de serre (GES)

Vapeur d'eau

Dioxyde de carbone (CO₂)

Méthane (CH₄)

Ozone (O₃)

Protoxyde d'azote (N₂O)

Hexafluorure de soufre (SF₆)

Chlorofluorocarbones et hydrochlorofluorocarbones (CFC/HCFC)

Perfluorocarbures (PFC)

Les politiques combinées de gestion : une stratégie nécessaire pour améliorer à long terme la qualité de l'air

Le projet SALUT'AIR a pour objectif de développer un système de prédiction de la qualité de l'air sur le long terme, intégrant le facteur « changement climatique ». Les équipes de recherche ont pu valider ce système par un exercice d'élaboration de projections de qualité de l'air à l'horizon 2050.

Des projections de qualité de l'air en 2050

L'exercice de simulation numérique de la qualité l'air en 2050 a été réalisé pour les concentrations en ozone et en particules fines (PM_{2,5}). Cet exercice est effectué sur deux scénarios climatiques, parmi les scénarios envisagés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le premier scénario part d'une situation de *statu quo*, où la mise en œuvre de politiques climatiques supplémentaires est inexistante. Le second scénario tient compte d'une politique ambitieuse d'atténuation du changement climatique, destinée à limiter le réchauffement global à 2°C d'ici 2100.

Le scénario théorique de gestion de la qualité est identique dans les deux cas : il suppose des stratégies de réduction des émissions de polluants atmosphériques très volontaristes, déployées de manière effective dans toute l'Europe.

Un co-bénéfice des politiques combinées de gestion

Cet exercice de projection à 2050 a pour vocation première d'identifier les principaux mécanismes d'évolution de la qualité de l'air. Dans le cas de l'ozone comme des particules fines, la mise en œuvre d'une politique de gestion de la qualité de l'air garde son efficacité sur l'évolution des concentrations globales de polluants d'ici à 2050, même dans le contexte du changement climatique et du transport de polluants sur une longue distance.

Les simulations montrent que les politiques d'atténuation du réchauffement climatique apportent un bénéfice complémentaire important aux politiques de gestion de la qualité de l'air. Sur le long terme, il semble que les effets de synergies l'emportent sur les effets antagonistes. Il est également observé que le transport à longue distance joue un rôle très important dans l'évolution de la qualité de l'air. Ce constat met en lumière l'importance de développer des politiques de gestion de la qualité de l'air coordonnées au niveau international.

Une diminution globale des concentrations en 2050

L'ozone (O₃)

On observe par le biais des simulations sur 2050 une diminution globale des concentrations en ozone. Cette diminution est amplifiée dans le premier scénario par le co-bénéfice des politiques visant le réchauffement climatique et la réduction des émissions polluantes.

Les simulations confirment que le changement climatique a un effet pénalisant sur l'évolution des concentrations d'ozone. L'élévation des températures et l'augmentation du rayonnement solaire reçu à la surface de l'atmosphère ont deux effets : ils accroissent les phénomènes chimiques qui favorisent la formation d'ozone ; ils stimulent les sources d'émissions de précurseurs de l'ozone d'origine humaine, animale ou végétale. Les politiques d'atténuation du réchauffement climatique contribuent largement à la réduction des émissions de précurseurs et *in fine* à la réduction des concentrations d'ozone.

Les « émissions longue distance » ont un effet pénalisant sur les concentrations d'ozone : la croissance des émissions de précurseurs dans d'autres zones du globe contrebalance les baisses constatées dans les pays européens.

SALUT'AIR en bref

Le projet « Evaluation des Stratégies de lutte contre la pollution de l'air à longue distance dans le contexte du changement climatique » a été conduit entre 2009 et 2013.

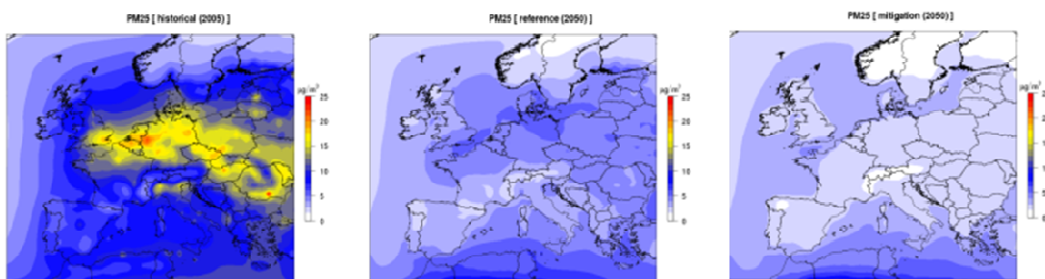
SALUT'AIR a mis en commun les compétences de l'INERIS, du CNRS (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement et Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Institut Pierre Simon Laplace) et de l'Université de Strasbourg (Laboratoire Image Ville Environnement).

Le projet a bénéficié du soutien financier de l'Ademe, du Ministère chargé de l'Ecologie et du programme PRIMEQUAL, programme de recherche inter-organismes dédié à la qualité de l'air.

Les particules fines ($PM_{2.5}$)

Les simulations sur 2050 montrent une baisse globale des émissions de particules fines. Dans le cas des particules, le co-bénéfice des mesures de lutte contre la pollution et des politiques énergétiques est moindre que dans le cas de l'ozone. En effet, l'effet pénalisant du changement climatique sur la pollution particulaire est moins net. Les phénomènes liés aux évolutions du climat contribueraient à diminuer les concentrations en $PM_{2.5}$, grâce notamment à l'augmentation des précipitations moyennes en Europe (hors zone méditerranéenne). Ce constat est cependant variable selon les types de composés particulaires (les nitrates d'ammonium semblant par exemple plus sensibles au changement climatique que les sulfates).

Concernant les politiques de qualité de l'air, la réduction des émissions de particules paraît principalement portée par les mesures de gestion déployées dans le secteur des transports et de l'industrie dans l'ouest de l'Europe, tandis que la baisse des émissions dans l'est de l'Europe est assumée par les efforts consentis dans le secteur de la production d'énergie.



Impact des scénarios 2050 sur les concentrations en $PM_{2.5}$ en moyenne annuelle

Un outil intégré de modélisation de la qualité de l'air

Le projet SALUT'AIR a servi, *in fine*, à développer une chaîne de modélisation unique de la qualité de l'air, qui intègre le changement climatique et le facteur « pollution longue distance ». Cette chaîne de modélisation met en cohérence quatre modèles : un modèle de circulation générale de l'air couplée océan/atmosphère ; un modèle de climat régional ; un modèle global de chimie atmosphérique ; un modèle de qualité de l'air régional (CHIMERE).

Une technique novatrice de correction d'incertitudes a été développée en bénéficiant des avancées du programme international de simulations régionales EURO-CORDEX. Cette technique a permis d'améliorer la précision des simulations à un niveau de résolution spatiale encore jamais atteint (12 km).

Première approche de l'analyse économique : un rapport coût/bénéfice positif

Le projet SALUT'AIR a également donné l'occasion de réaliser une première tentative d'intégration de l'approche économique à la chaîne de modélisation. Des analyses ont été conduites sur le rapport coût/bénéfice des mesures de gestion appliquées pour chacun des scénarios.

Agir pour atténuer le réchauffement climatique conduit à une augmentation des coûts, mais l'impact de ces mesures sur les concentrations de polluants a pour conséquence une réduction des dépenses de gestion de la qualité de l'air. Au final, le coût financier du scénario adoptant une politique climatique dynamique est un plus élevé que le coût du scénario ne s'appuyant sur aucune politique climatique (+15%). Si on prend en compte les impacts sur la santé dans l'évaluation du rapport coût/bénéfice, les premières analyses aboutissent à un bénéfice net des politiques environnementales combinées.

Le rôle complexe des aérosols

Les aérosols ont un effet de refroidissement (forçage radiatif négatif) ou de réchauffement (forçage radiatif positif) sur l'atmosphère selon les cas. L'impact des aérosols dépend de leur composition particulière : en fonction de leur nature, les composés ont des comportements différents.

Les particules interagissent directement avec l'énergie solaire incidente et le rayonnement terrestre. Elles captent l'énergie radiative, puis la diffusent ou bien l'absorbent. Les aérosols diffusants ont un effet refroidissant, tandis que les aérosols absorbants convertissent l'énergie en chaleur et augmentent la température de l'air. Les aérosols absorbants, par le biais de la température, ont un impact sur les conditions de formation des nuages. Une température accrue peut entraîner leur disparition par évaporation ou modifier leur extension géographique.

Les aérosols peuvent interagir directement avec les nuages, qui ont eux-mêmes un fort impact radiatif sur le bilan énergétique terrestre. Lorsque des nuages se forment, les aérosols servent de noyaux de condensation. De ce fait, le nuage a un fort pouvoir réfléchissant (effet de refroidissement). Autre effet des particules : les gouttelettes qui forment les nuages n'atteignent pas la taille critique au-delà de laquelle se déclenchent les précipitations. La durée de vie d'un nuage se trouve donc augmentée. Cette présence accrue de nuages a un impact refroidissant ou réchauffant selon leur altitude.

Au cœur des prédictions : les développements du modèle de chimie-transport CHIMERE

Les travaux de l'INERIS en appui technique aux politiques de gestion de la qualité de l'air, sur un plan national comme européen, font usage du même outil : le modèle CHIMERE.

CHIMERE, mode d'emploi

CHIMERE est un modèle de chimie-transport pour la simulation des panaches de pollution atmosphérique. Il est composé d'équations mathématiques, mises en relation et intégrées dans un code de calcul informatique. Ce jeu d'équations traduit le transport de polluants dans l'air, les phénomènes de réaction chimique qui se produisent dans l'atmosphère et les dépôts au sol, correspondant à la part de polluants qui ne se maintient pas dans l'atmosphère.

Les calculs de CHIMERE sont fondés sur des données d'émissions et des données météorologiques, qui aboutissent à matérialiser sous forme cartographique des niveaux de concentrations horaires de polluants, sous forme gazeuse ou particulaire.

CHIMERE peut simuler plus d'une centaine de molécules chimiques ; son usage est centré sur les polluants qui font l'objet d'une surveillance réglementaire : ozone (O_3), oxydes d'azote (NO_x), particules (PM), monoxyde de carbone (CO), dioxyde de soufre (SO_2).

Les concentrations sont simulées dans la troposphère, partie basse de l'atmosphère (jusqu'à environ 10km d'altitude) avec une résolution spatiale horizontale allant de l'échelle de la ville à celle du continent (1 à 100km).

L'impact des grandes villes

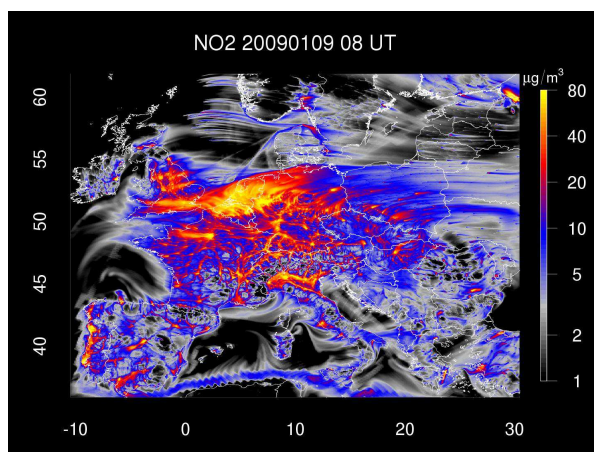
Le modèle CHIMERE a fait l'objet de développements récents pour améliorer ses performances de prédiction. L'INERIS et l'IPSL ont travaillé sur sa capacité à fournir des indications sur la part de pollution atmosphérique propre aux activités des grandes villes. Ces recherches partent du constat que les mégaloïles contribuent de manière significative à la dégradation de la qualité de l'air aux abords immédiats de la zone urbaine, mais aussi sur une plus longue distance, ce que les modèles parviennent encore difficilement à intégrer.

Afin d'améliorer les simulations numériques jusqu'à l'échelle urbaine, l'INERIS développe une expertise sur les cartographies d'émissions à haute résolution sur l'Europe et améliore la capacité du modèle CHIMERE à déterminer les concentrations de polluants dans les villes. Ces améliorations passent notamment par une meilleure prise en compte de la météorologie urbaine.

Une collaboration scientifique réussie

CHIMERE a été créé par le Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Institut Pierre-Simon Laplace (LMD/IPSL), institut qui regroupe 6 laboratoires de recherche en sciences de l'environnement rattachés au CNRS. Ces laboratoires élaborent une stratégie commune pour l'étude du « Système Terre » dans sa globalité ainsi que pour l'étude d'autres objets du Système solaire. Les travaux de l'IPSL sont le fruit de la collaboration de chercheurs du CNRS, du CEA, du CNES, de l'IRD, de quatre universités (Université de Versailles Saint Quentin, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, Université Denis Diderot Paris VII, Université Paris-Est Créteil) et deux grandes écoles (Ecole Normale Supérieure, Ecole Polytechnique).

En 2001, l'INERIS s'est rapproché de l'IPSL pour engager des travaux communs. Aujourd'hui le modèle est co-développé dans le cadre d'une collaboration scientifique étroite entre l'INERIS et l'IPSL.



Simulations haute résolution réalisées avec le modèle CHIMERE pour les concentrations de NO_2
L'impact des panaches urbains est particulièrement visible

Une expertise au service de la gestion des épisodes de pollution en France : le système PREV'AIR

L'expertise de l'INERIS contribue également aux politiques nationales de gestion de la qualité de l'air par le biais du système PREV'AIR. A la suite de l'exceptionnel épisode de pollution à l'ozone qui a sévi en France pendant l'été 2003, le ministère chargé de l'Ecologie a sollicité l'INERIS, le CNRS et Météo-France pour développer un système national de prévision de la qualité de l'air, dont l'exploitation a débuté en juin 2004.

Les caractéristiques du système PREV'AIR

Le système PREV'AIR fournit quotidiennement des prévisions à trois jours et des cartographies pour trois polluants atmosphériques « réglementés », du fait de leur impact sur la santé et l'environnement : ozone (O_3), oxydes d'azote (NO_x) et particules ($PM_{2.5}$ et PM_{10}). La plateforme PREV'AIR utilise deux modèles mathématiques de chimie-transport pour la simulation : le modèle CHIMERE, co-développé par l'INERIS et l'institut Pierre Simon Laplace (IPSL) ; le modèle MOCAGE de Météo-France.

Prévisions et cartographies, disponibles pour les acteurs de la qualité de l'air comme pour le public sur le site www.prevoir.org, ont fait de PREV'AIR un des fondements du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France.

Un outil de prédiction mais aussi d'analyses des épisodes de pollution

Les cartographies proposées par PREV'AIR combinent les simulations calculées et les mesures de concentration réalisées sur le terrain par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces cartes produites quotidiennement sont la meilleure représentation des phénomènes de pollution et s'avèrent précieuses pour le suivi et la compréhension des épisodes.

Ce travail de compréhension des épisodes est d'ailleurs approfondi par les laboratoires de l'INERIS, mis au service du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) dans le cadre du dispositif CARA. Les experts de l'Institut procèdent à des analyses chimiques d'échantillons prélevés par les AASQA sur plusieurs sites.

Depuis 10 ans, les diagnostics de PREV'AIR sur les pics de pollution particulaire ont permis d'affiner la compréhension de la saisonnalité des épisodes. Au printemps, les particules seraient constituées en grande partie de nitrate d'ammonium, qui se forme en présence d'oxydes d'azote et d'ammoniac. Les oxydes d'azote sont principalement émis par le trafic routier. Les épandages agricoles pratiqués en cette période de l'année induisent des émissions importantes d'ammoniac, et dans une moindre mesure de monoxyde d'azote, surtout lorsque les températures sont élevées. Ainsi les panaches contenant de fortes concentrations de polluants particuliers seraient observés dans les pays et régions où l'activité agricole est plus intense.

C'est l'une des explications à l'épisode de mars 2014, remarquable en France et en Europe de l'Ouest par son intensité et sa durée. D'autres épisodes de pollution particuliers, hivernaux, sont plutôt dus à des conditions météorologiques froides et très stables, qui contribuent à piéger les émissions près du sol, celles-ci étant intensifiées par l'usage du chauffage résidentiel et de la biomasse.

Un exemple fondateur pour le programme européen COPERNICUS

Le caractère novateur du concept et l'expertise qu'il a contribué à développer sur la prévision de la qualité de l'air ont permis au consortium PREV'AIR d'accompagner la mise en place du service « Atmosphère » du programme européen Copernicus. Piloté par la Commission Européenne, ce programme vise à assurer une surveillance globale de la Terre (continents, atmosphère, océans...) au moyen de différents systèmes d'observation (données satellite, mesures sur site) et de modélisation.

L'INERIS et Météo-France animent les travaux des sept équipes de modélisation de la qualité de l'air régionale impliquées dans le projet MACC II, préalable à la mise en place des services relatifs à la prévision de la qualité de l'air en Europe. Le service « Atmosphère » sera pleinement opérationnel en 2015.

2010, l'éruption du volcan islandais

Le système PREV'AIR a contribué à l'analyse de l'épisode de pollution particulaire d'avril 2010, survenu au moment de l'éruption du volcan islandais Eyjafjallajökull. La concomitance des événements a conduit à s'interroger sur le possible cumul des deux phénomènes.

En définitive, les pics de concentrations s'expliquaient, pour une grande part, par un épisode de nature transfrontalière, induit par les activités humaines et dont le constat était assez classique en cette saison. L'analyse a montré un effet cumulé, mais limité, du panache islandais.

L'INERIS en bref

L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques a pour mission de contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement. Il mène des programmes de recherche visant à mieux comprendre les phénomènes susceptibles de conduire aux situations de risques ou d'atteintes à l'environnement et à la santé, et à développer sa capacité d'expertise en matière de prévention. Ses compétences scientifiques et techniques sont mises à la disposition des pouvoirs publics, des entreprises et des collectivités locales afin de les aider à prendre les décisions les plus appropriées à une amélioration de la sécurité environnementale.

L'INERIS, établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du ministère chargé de l'Ecologie, a été créé en 1990. Il est né d'une restructuration du Centre de Recherche des Charbonnages de France (CERCHAR) et de l'Institut de Recherche Chimique Appliquée (IRCHA), et bénéficie d'un héritage de plus de 60 ans de recherche et d'expertise reconnues.

- Un effectif de 589 personnes dont 350 ingénieurs (347 hommes et 242 femmes).
- Une équipe de spécialistes des géosciences basée à Nancy dans le cadre d'activités de recherche et d'expertise sur les risques liés à l'Après-Mine.
- Une plate-forme d'expertise sur la valorisation des déchets à Aix-en-Provence.
- Un siège dans l'Oise, à Verneuil-en-Halatte : 50 hectares, dont 25 utilisés pour des plates-formes d'essais, 25 000 m² de laboratoires.

Domaines de compétence

- *Risques accidentels* : sécurité industrielle (sites Seveso), TMD, nouvelles énergies, équipements de sécurité, sécurité des procédés chimiques, étude des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion toxique).
- *Risques chroniques* : mesure et prédiction de la qualité de l'air (ambiant, intérieur) pollution des milieux aquatiques, toxicité des substances chimiques, CEM, REACH, environnement-santé, gestion des sites pollués...
- *Risques sols et sous-sols* : cavités, après-mine, stockages souterrains, filière CCS, hydrocarbures non conventionnels...
- Certification réglementaire et volontaire, formation.

Activité

- Recettes : 80 M€
- Recherche amont et partenariale : 20 %
- Expertise en soutien des politiques publiques: 57 %
- Chiffres d'affaires entreprises : 23 %

L'INERIS est certifié ISO 9001 pour l'ensemble de ses activités depuis 2000. Plusieurs laboratoires disposent d'accréditations (essais, étalonnages, comparaisons inter-laboratoires, certification de produits industriels). L'INERIS possède également une installation d'essai reconnue conforme BPL.

Acteur de l'Europe de la recherche, l'INERIS s'intègre à l'Europe de l'expertise

Avec 47% de taux de succès au 7^{ème} programme cadre européen, l'INERIS est un des acteurs les plus performant au plan national.

Gouvernance et déontologie à l'Institut

Un comité indépendant suit l'application des règles de déontologie qui encadrent l'indépendance des avis de l'INERIS ; depuis 2001, il rend compte directement au Conseil d'administration.

La gouvernance scientifique de l'INERIS est constituée d'un Conseil scientifique qui examine les orientations stratégiques de l'Institut, de trois commissions spécialisées qui évaluent les programmes et équipes scientifiques et de la commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE).

L'INERIS a la possibilité de se saisir de questions portant sur des risques, notamment à caractère environnemental ou sanitaire. Cet aspect a été pris en compte en septembre 2010, lors de l'adoption de la Charte Nationale de l'Expertise.

La Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence (CASU)

L'Institut a créé en 2003 une Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence (CASU) qui met, en temps réel et 24h/24, les compétences scientifiques et techniques de ses ingénieurs et chercheurs à la disposition des Ministères, des services déconcentrés du Ministère chargé de l'Ecologie et des services d'intervention de la Sécurité Civile (pompiers...).

La Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise (CORE)

représente la concrétisation de la démarche d'ouverture de l'Institut. Officialisée par l'arrêté du 26 avril 2011 relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'INERIS, elle marque le passage d'une gouvernance scientifique à une gouvernance scientifique et sociétale, portant également sur les activités d'expertise et d'appui aux pouvoirs publics.

La Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise réunit 5 collèges (industriels, élus, syndicats, associations, État) et des personnalités qualifiées de l'enseignement supérieur ou de la recherche.