



HAL
open science

QUELLES ÉCHELLES SPATIALES ET TEMPORELLES POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES ?

Isabelle Coll, Fanny Lasry

► **To cite this version:**

Isabelle Coll, Fanny Lasry. QUELLES ÉCHELLES SPATIALES ET TEMPORELLES POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES?. 18èmes Journées Scientifiques de l'Environnement : Environnement, Citoyenneté et Territoires Urbains, May 2007, Créteil, France. hal-00196785

HAL Id: hal-00196785

<https://hal.science/hal-00196785>

Submitted on 13 Dec 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

QUELLES ÉCHELLES SPATIALES ET TEMPORELLES POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES ?

Isabelle COLL¹ et Fanny LASRY²

¹ LISA, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, Université Paris 12,
CMC, 61 avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex
Tél : 01.45.17.15.46, Fax : 01.45.17.15.64, Courriel : icoll@lisa.univ-paris12.fr

² ARIA Technologies SA, 8-10 rue de la Ferme, 92100 Boulogne-Billancourt
Tél : 01.46.08.68.78, Fax : 01.41.41.93.17, Courriel : flasry@aria.fr

Résumé

De nos jours, les phénomènes menant à la production photochimique d'ozone sont bien compris et correctement reproduits par les modèles eulériens de chimie-transport. Néanmoins, l'interaction des échelles de production et de transport d'ozone rend très complexe la maîtrise des concentrations d'ozone au-dessus des continents urbanisés, en particulier en été lors des périodes de forte chaleur et de vents faibles. Ce document présente les principaux volets de l'étude du comportement de l'ozone en fonction des émissions de ses précurseurs, ou comment concevoir les actions à mettre en œuvre aux différentes échelles d'espace et de temps pour maîtriser la pollution photochimique.

Mots-Clés : ozone ; sensibilité ; émissions ; modélisation ; scénarios.

1. Introduction

La pollution photochimique observée sur l'ensemble du continent européen en été résulte de la combinaison de deux phénomènes d'échelles différentes : un phénomène dit « de fond » recouvrant la persistance de concentrations moyennes élevées d'ozone sur toute la période estivale, et un phénomène local et ponctuel consistant en une rapide et intense production photochimique d'ozone en périphérie des grands centres urbains. Pour remédier à cette double problématique, la législation européenne a proposé en 1999 (protocole de Göteborg) une stratégie associant un contrôle permanent et des réductions ponctuelles supplémentaires des émissions anthropiques.

Les mesures permanentes de réduction des émissions s'appuient sur l'implantation progressive de nouvelles technologies dans les différents secteurs d'activité. Elle compte également sur la substitution de certains polluants par des produits moins nocifs ou moins impliqués dans la photochimie productrice d'ozone, comme c'est le cas pour les essences. Enfin, elle exige la mise en place de systèmes efficaces de récupération ou de filtration des composés émis par les installations industrielles ou par les automobiles. La directive européenne « National Emission Ceiling » (NEC, 01/81/ce) impose ainsi à tous les Etats membres des plafonds nationaux d'émission à respecter pour l'année 2010. Pour la France, ces seuils représentent entre autres polluants une réduction de près de 40% des émissions de

Composés Organiques Volatiles (COV) et d'oxydes d'azotes (notés NO_x pour la somme de NO et de NO₂).

Si la directive NEC mentionne la possibilité pour chaque pays d'instaurer des mesures additionnelles pour atteindre les niveaux d'émission requis pour 2010, elle suggère également l'élaboration de plans d'action pouvant être mis en œuvre en cas d'épisodes sévères de pollution. En Europe, plusieurs pays tels que la France, l'Autriche, l'Allemagne ou la Grèce ont adopté leurs propres plans d'action à court terme, basés sur les recommandations mentionnées dans la directive : jouer sur les limites de vitesse du trafic automobile, mettre en place une circulation urbaine alternée, et limiter ou interdire selon la gravité de l'épisode certaines activités industrielles. En France, ces plans sont définis par les décrets préfectoraux.

Malgré les efforts engagés pour un contrôle commun des émissions, la pollution par l'ozone continue de jouer un rôle significatif dans la dégradation de la qualité de l'air en été. A l'image de ces cartes (Figure 1) issues d'analyses de l'Agence Européenne pour l'Environnement sur l'été 2006, deux traits caractérisent la pollution par l'ozone sur le continent européen :

- La persistance du dépassement des seuils d'information et d'alerte pour l'ozone avec une augmentation de la fréquence de ces phénomènes sur les dernières années, et une augmentation de l'intensité des épisodes les plus sévères. On observe en effet des pointes d'ozone extrêmement fortes en été, surtout dans le sud de l'Europe (370 µg/m³ en 2006 mais surtout 420 µg/m³ en 2003 et en 2004) et sur des épisodes très intenses (60% des alertes de 2006 ont été recensées sur la période du 17 au 28 juillet).
- L'ampleur géographique et temporelle du phénomène de dépassement des seuils d'ozone, qui touche la quasi-totalité de l'Europe et s'étale sur l'ensemble de l'été. En 2006, le seuil de 180 µg/m³ a été dépassé sur les 25 Etats Membres, et celui de 240 µg/m³ l'a été sur 12 Etats Membres. Ces deux seuils sont relatifs à une concentration d'ozone sur une heure. Mais les observations indiquent également le dépassement du seuil de 120 µg/m³ de protection de la santé relatif à la moyenne en ozone sur 8 heures consécutives : de tels dépassements ont été constatés sur 85% des stations européennes. L'amplitude spatiale des épisodes est associée à une présence continue des épisodes, qui s'avèrent faciles à déclencher : ainsi on n'observe pas un seul jour sans dépassement en Europe durant l'été 2006.

L'ensemble de ces observations nous amène à nous questionner sur la manière dont on peut réduire les concentrations d'ozone sur les différentes échelles d'espace et de temps auxquelles ces épisodes sont observés. Nous nous proposons de discuter ceci au travers de deux questions :

- Que connaît-on de la sensibilité de l'ozone aux émissions de ses précurseurs, à différentes échelles spatiales et temporelles ?
- Peut-on efficacement réduire les concentrations d'ozone en Europe à l'aide des réglementations engagées ?

• **L'ozone : une résultante complexe**

Concevoir, proposer, évaluer des politiques environnementales relatives à l'ozone requiert une compréhension fine du système régional de production d'oxydants et de sa dépendance envers les émissions locales. Or ce système est particulièrement complexe, notamment du fait

Quelles échelles spatiales et temporelles pour la réduction des émissions atmosphériques ?

que la production d’ozone relève de la présence simultanée de deux familles de composés dont les sources, les temps de vie et l’évolution chimique sont très différents.

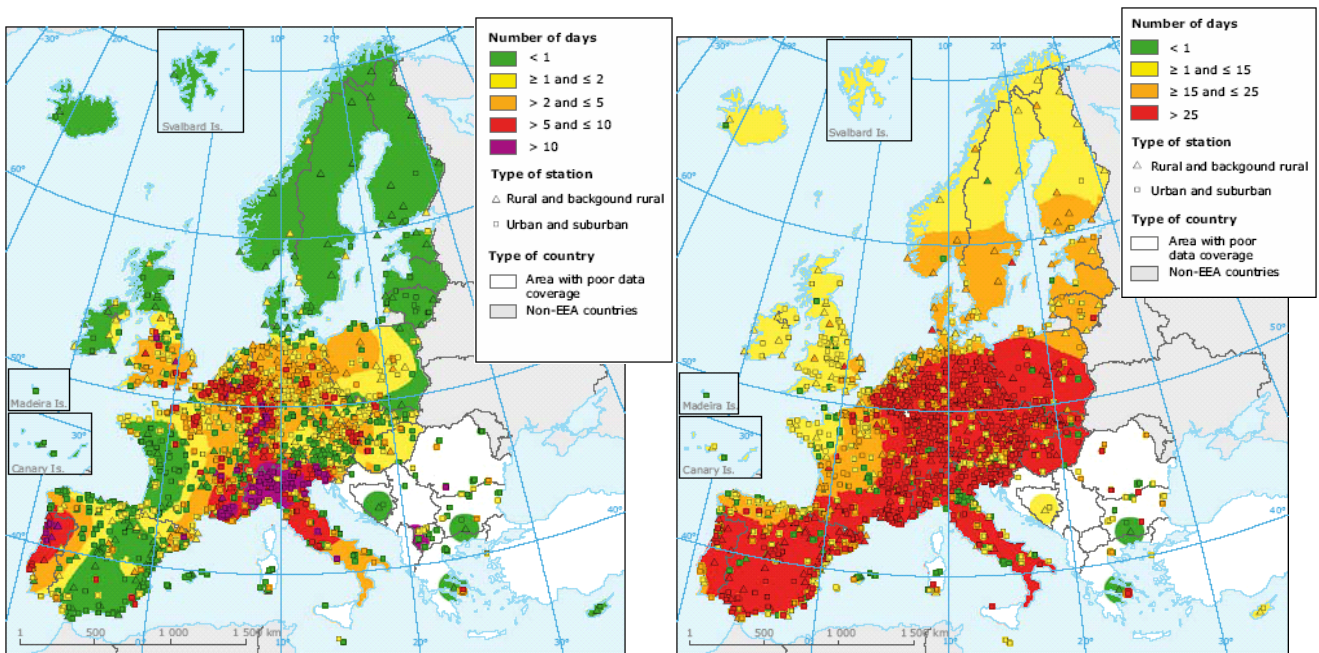


Figure 1. A gauche, nombre de jours de dépassements du seuil horaire de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d’ozone sur l’été 2006. A droite, nombre de jours de dépassements du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d’ozone sur 8 heures sur l’été 2006 [1].

1.1 Les régimes de production photochimique d’ozone

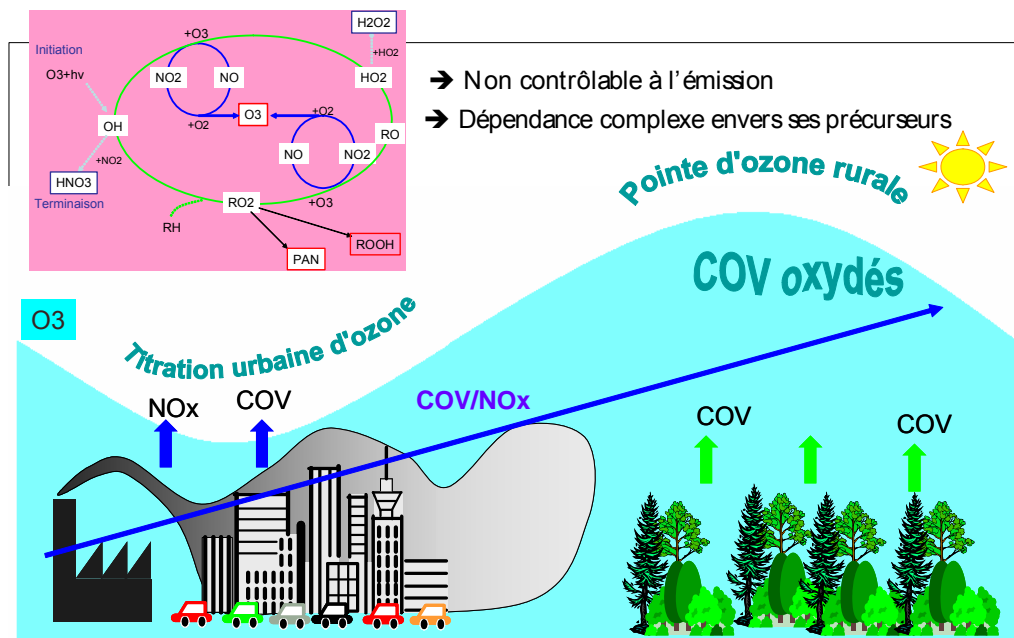


Figure 2. Schématisation des phénomènes de titration et de production d’ozone en ville et sous le vent de la ville.

La production d’ozone est en effet un phénomène complexe, dépendant de façon non linéaire des quantités d’oxyde d’azote et de COV présents dans l’atmosphère (Figure 2). A proximité des sources anthropiques de combustion (trafic routier urbain, combustions domestiques,

panaches industriels), la présence de fortes quantités de NO mène à la titration presque instantanée de l’ozone par la très rapide réaction O_3+NO . L’ozone disparaît alors de l’atmosphère urbaine. Lorsque la masse d’air, poussée par les vents horizontaux, s’éloigne des centres urbains, la diminution rapide des concentrations de NOx (par dilution mais également par transformation en composés azotés oxydés) inhibe la titration de l’ozone. La présence simultanée de grandes quantités de COV et de quantités modérées de NOx favorise alors la production d’ozone. Au bout d’un certain temps (quelques heures à une demi-journée), la diminution des concentrations de NOx au-dessous d’un certain seuil de concentration inhibe à nouveau la production d’ozone.

Selon les quantités relatives de NOx et de COV, la production d’ozone ne présente donc pas la même sensibilité à ses précurseurs. On note ainsi (Figure 3) des conditions dans lesquelles la diminution des concentrations de NOx permet de réduire l’ozone (en bas à droite), et d’autres dans lesquelles elle génère une plus forte production d’ozone (en haut à gauche): on parle de régimes de production d’ozone. Lorsque l’atmosphère est saturée en NOx, c’est la présence de COV en trop faibles quantités relatives qui inhibe la production d’ozone, le régime est dit limité par les COV : c’est ce qu’on observe près des sources anthropiques. Lorsque les NOx sont en quantités limitantes, ce sont eux qui déterminent l’amplitude de la production d’ozone, le régime est alors dit limité par les NOx : c’est le cas des zones rurales.

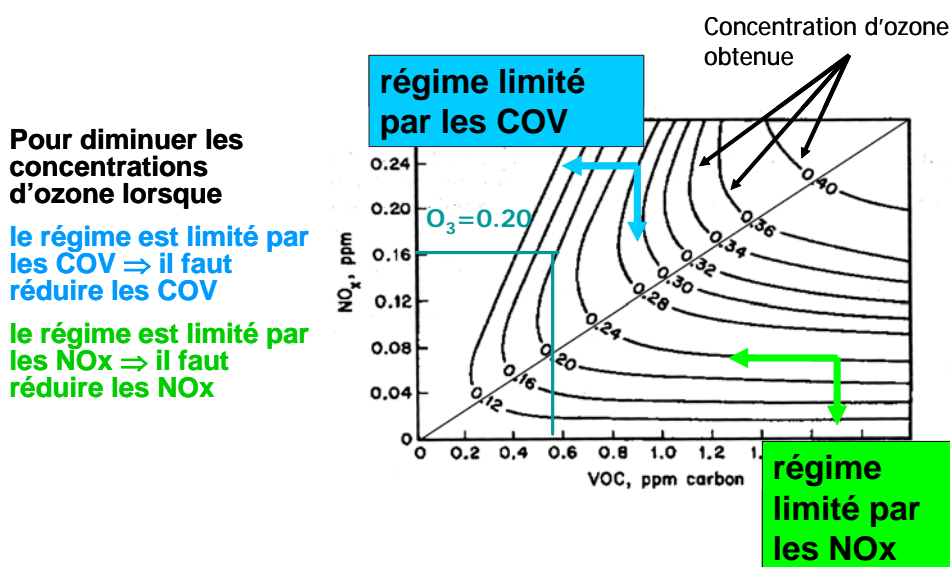


Figure 3. Schématisation des régimes de production d’ozone [2].

1.2 Le rôle des émissions

La part entre COV et NOx dans le mélange des émissions d’une région donnée est donc un paramètre critique des émissions. Cette part varie selon l’heure de la journée et l’évolution relative des différentes activités anthropiques, et bien sûr selon le mélange des émetteurs représentatif de la région considérée.

D’autre part, tous les composés n’interviennent pas à part égale dans la formation d’ozone, certains COV étant plus réactifs que d’autres ou suivant un chemin de dégradation le long duquel un plus grand nombre de molécules d’ozone sont produites. Si la production d’ozone se révèle dépendante de la structure spatiale et temporelle des émissions, elle est également directement déterminée par la spéciation (profil d’abondance relative) des COV émis par chaque activité.

Quelles échelles spatiales et temporelles pour la réduction des émissions atmosphériques ?

1.3 La dynamique de l'atmosphère

Mais la chimie n'est pas le seul élément à prendre en compte. Les rapports de mélange des COV et des NOx dans l'atmosphère sont directement gérés par la dynamique locale des basses couches de l'atmosphère, phénomène lui-même complexe et dépendant de l'heure de la journée, de l'ensoleillement, de la nature du sol, de la météorologie à plus grande échelle...

Les études mécanistiques de la dégradation des COV en modèle de boîte ou lagrangien ont permis de mieux comprendre le délicat équilibre entre COV et NOx dans la production d'ozone et la manière dont se relayent les différents COV dans la formation d'ozone au cours de l'évolution d'un panache anthropique.

Mais pour comprendre la distribution et l'intensité des pointes d'ozone sur le terrain, la complexité des phénomènes décrits ci-dessus requiert l'utilisation de la modélisation tridimensionnelle qui elle seule permet l'intégration dans ses calculs de tous les paramètres majeurs jouant sur le transport réactif des polluants dans l'atmosphère. Utiliser la modélisation requiert à son tour une grande prudence dans l'interprétation de ses résultats. Il faut toujours associer aux études une phase de validation ou d'évaluation de la pertinence des résultats du modèle par comparaison à des mesures de terrain de grande qualité.

Dans le cadre de l'évaluation et la proposition de politiques environnementales, les études de modélisation sont très souvent basées sur la mise en œuvre de « scénarios d'émissions ». Ces études consistent à remplacer dans le modèle les émissions actuelles de polluants par des émissions reproduisant des variations théoriques ou les réglementations engagées, et à en calculer l'impact sur la production d'ozone.

2. Sensibilité de l'ozone et politiques environnementales

2.1 Sensibilité de l'ozone aux COV et aux NOx en périphérie d'une ville

Dans les années 90, les premières études de scénarios d'émissions (illustrées en Figure 4) se sont focalisées sur la sensibilité de l'ozone produit sur une région (100 à 200km) à des modifications arbitraires et homogènes de quelques dizaines de pourcents des émissions de COV et d'oxydes d'azote. Ces études se basaient sur la notion de régimes de production d'ozone. La question cachée derrière ces études était celle de la nature de l'action à mener sur les émissions des grandes villes : doit-on engager une action sur les COV ou sur les NOx pour réduire de façon immédiate l'ozone dans les panaches suburbains ?

Les résultats ont permis de développer le concept de régimes de production d'ozone, de générer des indicateurs chimiques (rapports de concentration de deux espèces) pouvant indiquer quel était le régime local de production d'ozone, et d'identifier ce régime dans les panaches des différentes villes. On pouvait ainsi répondre à la question : le panache, lorsqu'il produit de l'ozone, est-il limité par les quantités de NOx ou par celles de COV ?

Si les études dans leur totalité ont montré le passage d'un régime limité par les NOx (en ville) à un régime limité par les COV à l'échelle de la journée, elles ont aussi montré qu'il n'était pas possible de donner de tendance générale sur la sensibilité des pointes d'ozone les plus fortes aux émissions. En effet, une très grande variabilité des réponses de l'ozone à ses précurseurs a été observée d'un site à un autre mais également sur un même site d'un jour sur l'autre. Les principaux facteurs identifiés comme responsables de cette variabilité sont la dynamique atmosphérique de la période étudiée (et donc le mélange des précurseurs émis), l'intensité absolue des émissions anthropiques, et le contenu des masses d'air transportées sur le site (et servant de base au mélange atmosphérique).

Aucune recommandation générale n'a donc pu être donnée pour optimiser le contrôle régional des pointes d'ozone en Europe et aux Etats-Unis, mais on a pu affirmer toutefois que la réduction des NOx faisait systématiquement augmenter les concentrations d'ozone en ville et les réduisait un peu plus loin sous le vent de la ville, de façon souvent plus efficace que les réductions de COV.

Ces travaux ont également permis de grandes avancées dans la compréhension du déroulement des épisodes photochimiques, et ont permis de développer des méthodes d'évaluation sur le terrain de l'intensité relative des émissions de NOx et de COV d'une zone urbaine.

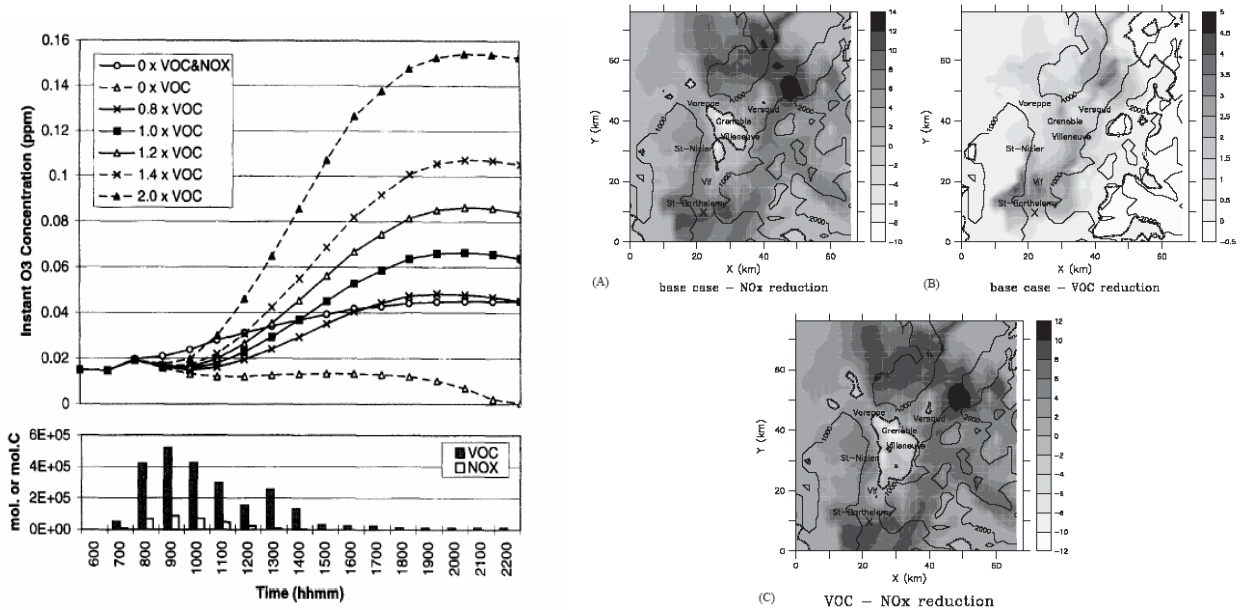


Figure 4. A gauche, sensibilité de l'ozone produit dans un modèle en fonction du temps à la variation des émissions de COV et de NOx, [3]. A droite, représentation en 2D au sol de l'augmentation (couleurs foncées) ou de la diminution (couleurs claires) de l'ozone sur un domaine en fonction des réductions d'émissions [4].

Avec l'évolution de nos connaissances sur les inventaires d'émissions, les études ont pu se concentrer sur des modifications plus réalistes, traduisant le rôle des différents secteurs d'émission dans la formation des panaches d'ozone (Figure 5).

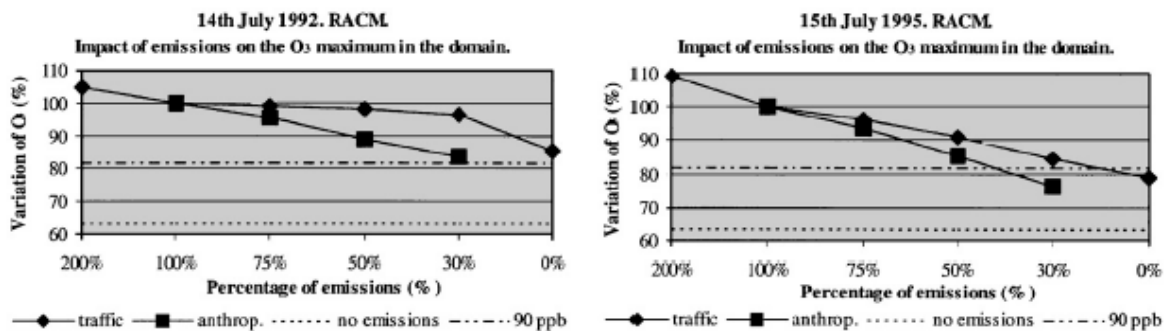


Figure 5. Sensibilité de l'ozone aux réductions en % des émissions du trafic routier, des émissions anthropiques, et des émissions totales [5].

Quelles échelles spatiales et temporelles pour la réduction des émissions atmosphériques ?

2.2 Evolution de la production d'ozone dans un panache

En parallèle, de nombreuses études se sont intéressées à la réactivité individuelle des COV et à leur capacité à produire de l'ozone après émission, en considérant cette fois un panache d'émissions évoluant de façon isolée, sur différentes échelles de temps.

Pour mieux évaluer l'importance des COV sur une région, certains auteurs ont préconisé de classer les COV non plus sur une échelle de concentration absolue mais sur une échelle de concentration-réactivité, prenant en compte à la fois leur concentration dans l'atmosphère et la valeur absolue de leur constante cinétique de réaction avec le radical OH (qui initie leur dégradation dans l'atmosphère) [6]. En se basant sur des mesures de terrain aux Etats-Unis, ils ont réalisé de tels classement et ont notamment pu montrer qu'à l'échelle régionale, ce sont les COV émis par les végétaux (isoprène, alpha-pinène) qui arrivent en tête de ce classement et constituent donc un facteur aggravant bien que naturel des épisodes d'ozone. La suite du classement a également fait ressortir des COV peu émis mais fortement réactifs, dont la résultante leur permettait un classement élevé sur cette échelle. Néanmoins cette échelle ne tient pas compte du rendement chimique en ozone de la dégradation de chaque COV.

Des études de dégradation photochimique des hydrocarbures dans un panache « standard » ont alors permis l'établissement d'échelles complémentaires. L'évolution d'une masse d'air riche en COV et en NOx a été simulée dans un modèle OD ou 1D, en prenant cette fois-ci en compte la logique de décomposition chimique des espèces, et leur éventuelle dilution dans un milieu atmosphérique standard. Les travaux ont mené à l'établissement de deux principales échelles de participation des composés organiques à la formation d'ozone.

L'échelle des Photochemical Ozone Creation Potential ([7]) calcule l'évolution en 1D (modèle lagrangien), au cours d'un trajet continental (plusieurs jours), de la réactivité d'un COV dans un mélange donné, par rapport à un COV de référence : l'éthène. Le POCP de chaque composé évolue dans le temps car la composition en COV de la masse d'air se modifie au cours du transport en perdant les COV les plus réactifs, qui se dégradent rapidement. Cette échelle permet de quantifier la manière dont les hydrocarbures les plus réactifs forment de l'ozone (POCP élevé), puis deviennent très minoritaires (le POCP diminue), pour laisser place à une production d'ozone plus lente, assurée par des COV de réactivité moyenne. On sait ainsi quels COV agissent et à quelles échelles spatiales et temporelles.

Les Incréments de Réactivité ([8]) d'un COV donné sont calculés dans un modèle OD, dans un mélange standard d'hydrocarbures et de NOx. Ils représentent l'impact d'une infinitésimale diminution de leurs concentrations sur la production d'ozone de la boîte (Figure 6). Si cette échelle ne permet pas de redistribuer en 3D l'impact des émissions, elle permet d'obtenir un classement standard de la participation de chaque hydrocarbure à la production d'oxydants dans le panache moyen d'une ville.

Ces échelles ont permis d'identifier des composés particulièrement agressifs en termes de production d'oxydants et de mieux comprendre l'évolution de la formation d'ozone dans les masses d'air au sortir de centres d'émissions ou lors de leur transport au-dessus d'un continent.

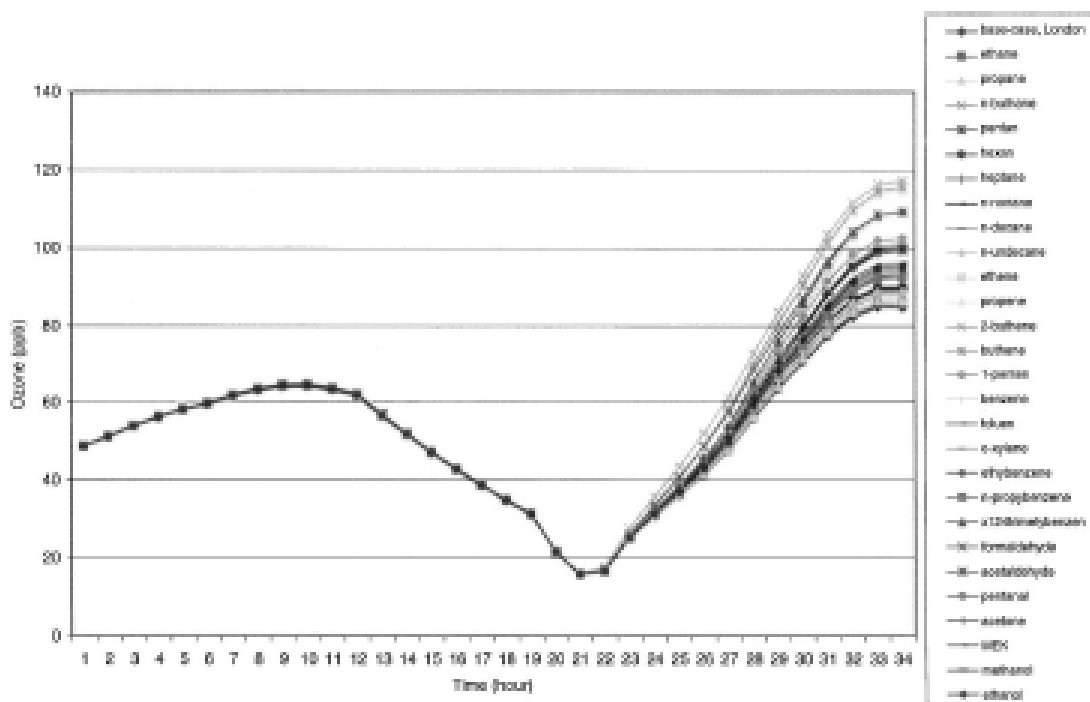


Figure 6. Etude des incréments de réactivité de nombreux COV : visualisation de leur impact sur l'ozone dans le panache de Londres en fonction du temps [9].

2.3 Les scénarios d'émissions : le lien avec la politique environnementale

La ratification de la directive NEC a amené l'attention de la communauté des modélisateurs sur l'élaboration de scénarios prospectifs pour l'année 2010. La méthodologie utilisée jusqu'à ces dernières années a principalement consisté en l'élaboration d'un inventaire continental ou régional reflétant l'application stricte des directives européennes sans particularités locales, pour différentes périodes entre 1990 et 2010. A l'image de la Figure 7, elles reconnaissent toutes la réduction significative (quoique d'ampleur variable) des concentrations d'ozone qui devrait être engendrée par le respect des politiques environnementales européennes. Elles indiquent également une réduction très forte de l'exposition moyenne d'ozone sur toute la période estivale, indicateur utilisé pour la protection de la végétation. Elles reconnaissent aussi pour la première fois l'interaction d'échelles : la nécessité d'agir localement comme sur le bruit de fond pour mieux contraindre l'ozone.

Le projet européen City-Delta (<http://aqm.jrc.it/citydelta/>) a dans ce cadre proposé un exercice de modélisation de scénarios d'émissions pour 8 grandes villes européennes. L'objectif était de trouver sur un grand nombre de modèle, des constantes dans les réponses de l'ozone et des particules aux réductions d'émissions demandées par la législation, et de positionner ces résultats par rapport aux engagements pris par les Etats Membres. Le projet devait traiter la contribution des sources régionales par rapport aux sources locales, et la manière dont la qualité de l'air urbaine peut être intégrée dans une évaluation coût/efficacité des stratégies de contrôle des émissions. Les résultats ont confirmé une grande diversité des réponses de l'ozone sur les différentes villes, une forte variabilité interannuelle, et l'importance de l'évolution du bruit de fond hémisphérique en ozone. Un résultat majeur a été l'implémentation de leurs résultats en termes de particules dans le modèle européen d'évaluation de l'exposition citoyenne aux particules et de gestion des coûts et risques associés, le modèle RAINS (http://www.iiasa.ac.at/Research/TAP/rains_europe/intro.html).

Quelles échelles spatiales et temporelles pour la réduction des émissions atmosphériques ?

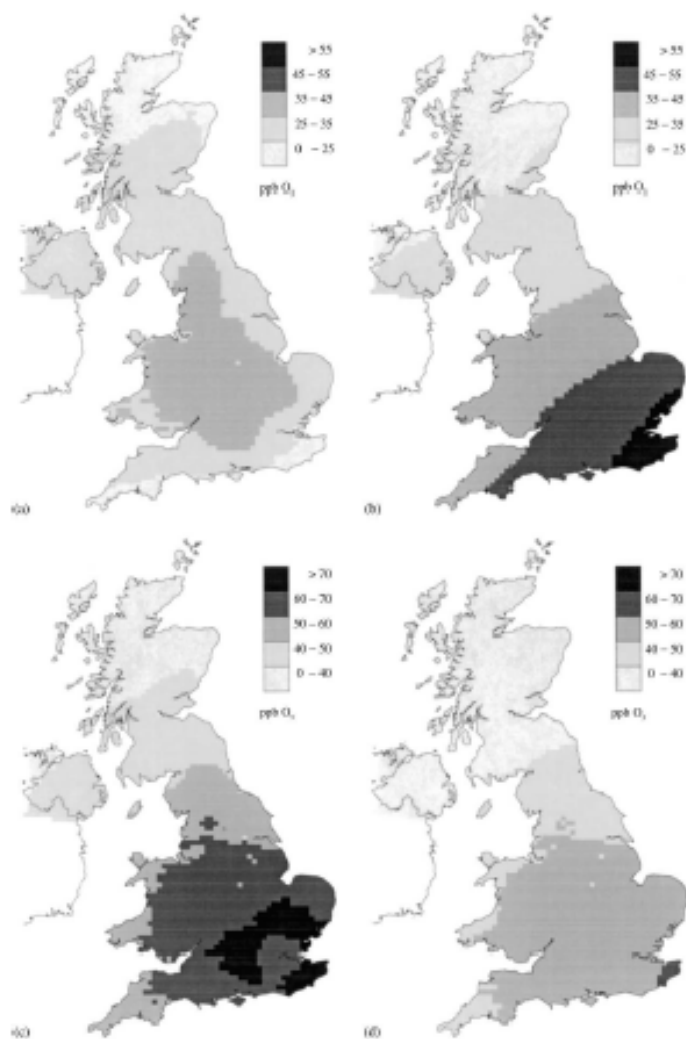


Figure 7. Simulation des concentrations d'ozone obtenues (en ppbv) selon la situation considérée : a) émissions locales seulement, b) émissions extérieures seulement, c) total des émissions, d) application de NEC sur toute l'Europe [10].

L'ensemble de ces études précisent que des réductions au-delà de celles imposées par la législation courante sont nécessaires pour respecter les seuils horaires ou journaliers de protection de la végétation et de la santé, pour l'ozone et pour certains polluants primaires comme les particules atmosphériques ou le NO_2 en centre urbain.

2.4 Une illustration : le projet PRIMEQUAL – Scénarios d'émissions

Beaucoup de scénarios ont été menés en appliquant à l'identique les législations européennes sur tout un pays sans prendre en compte les particularités régionales, et – directive NEC exceptée – les études se sont intéressées à des situations présentant peu de réalisme, comme des scénarios extrêmes reflétant l'application complète des technologies les plus avancées malgré l'improbabilité de leur mise en œuvre pour des raisons économiques. L'étude de scénarios d'émissions menée dans le cadre du projet ESCOMPTE et du programme PRIMEQUAL2-PREDIT a permis d'aller plus loin sur l'analyse de régions particulièrement touchées par la pollution photo oxydante. Elle a permis de décrire en détails l'impact attendu par les réglementations en cours sur les concentrations d'ozone dans une zone Méditerranéenne très riche en émissions urbaines et industrielles : la région de Marseille-Fos-

Berre. Cette étude s'est attachée à constituer des scénarios d'émissions avec une très grande finesse, en prenant en compte les spécificités nationales mais aussi locales. Elle a permis l'analyse de nombreuses journées de pollution photochimique, afin de s'affranchir de la variabilité inter journalière des réponses de l'ozone aux émissions. Elle évite également l'unicité de la réponse du modèle en proposant plusieurs situations d'émission possibles pour l'année 2010. Enfin, en étudiant des scénarios d'échelle régionale et continentale, mais aussi sur le long terme et à court terme, elle illustre particulièrement bien ici le phénomène d'interaction d'échelles dans la production d'ozone.

La zone d'étude et les calculs mis en œuvre pour constituer les scénarios d'émissions sont décrits en détails dans les travaux de Lasry ([11]). Les principales informations sur le site sont rappelées ici :

- de fortes émissions urbaines et industrielles sur la côte méditerranéenne relayées par de fortes émissions de COV par les végétaux dans l'arrière-pays,
- une dynamique de brises de terre et de mer, favorisant la recirculation des masses d'air et empêchant donc leur rapide évacuation des zones d'émissions
- la présence de chaînons montagneux contraignant et inhibant l'évacuation des masses d'air dans lesquelles se stockent alors les polluants émis durant leur séjour au-dessus des zones source.

Les principaux résultats s'expriment au travers de quatre items.

Quelle situation probable pour 2010 ?

La simulation de 4 situations 2010 pour l'ensemble des journées d'étude (Figure 8) montre qu'une réduction d'ozone significative, de l'ordre de 10 à 15 ppbv dans le panache, est attendue dans le cas 2010 le plus probable. Elle montre que le maintien des efforts pour un respect strict de la réglementation NEC (actuellement peu probable) permettrait de gagner encore 5 ppbv en moyenne. Elle illustre également la force de l'adaptation régionale des réglementations, qui permet de se rapprocher du résultat « NEC » en imposant des réductions spécifiques sur les secteurs localement très émetteurs (ici le secteur pétrochimique).

Contrôle régional et continental : quelles interférences ?

Sur la Figure 9 on voit également l'importance d'un contrôle européen commun de l'ozone, qui assure la stabilisation du bruit de fond en ozone à des valeurs plus modérées. Si l'on regarde l'impact séparé d'un contrôle continental et local, on observe toutefois que dans des zones fortement productrices d'ozone comme celle-ci, l'action continentale joue peu sur l'intérieur du panache d'ozone, où l'ozone est essentiellement produit par les émissions locales. En revanche, sur la périphérie du panache et sur les zones alentour, les bénéfices en termes d'exposition ponctuelle et annuelle sont très grands.

Un effort local suffisant ?

La transcription en « nombre de dépassements de seuil » de toutes les situations 2001 et 2010 est présentée en Figure 10. Elle montre les bienfaits indéniables du contrôle des émissions sur la qualité de l'air, mais elle indique également que les problèmes persistent, et qu'il faut maintenir voire renforcer le contrôle sur les émissions.

Les mesures d'urgence : un problème urgent !

Enfin, la mise en œuvre de mesures d'urgence (prises la veille d'un épisode prévu par les modèles) s'avère pour l'instant peu efficace avec des réductions de l'ordre de quelques ppbv

Quelles échelles spatiales et temporelles pour la réduction des émissions atmosphériques ?

pour les actions les plus poussées. En effet, les calculs indiquent que les mesures de réduction des vitesses, d'alternance du trafic routier, ou de réduction de l'activité industrielle sont trop limités dans l'espace (application à un nombre restreint d'émetteurs) et représentent un effort de faible amplitude. Ces résultats ont été confirmés par la relative inefficacité de leur mise en œuvre sur cette région durant 8 journées consécutives pendant l'été 2006. De nouvelles réflexions sont donc à mener sur ce point urgent et critique.

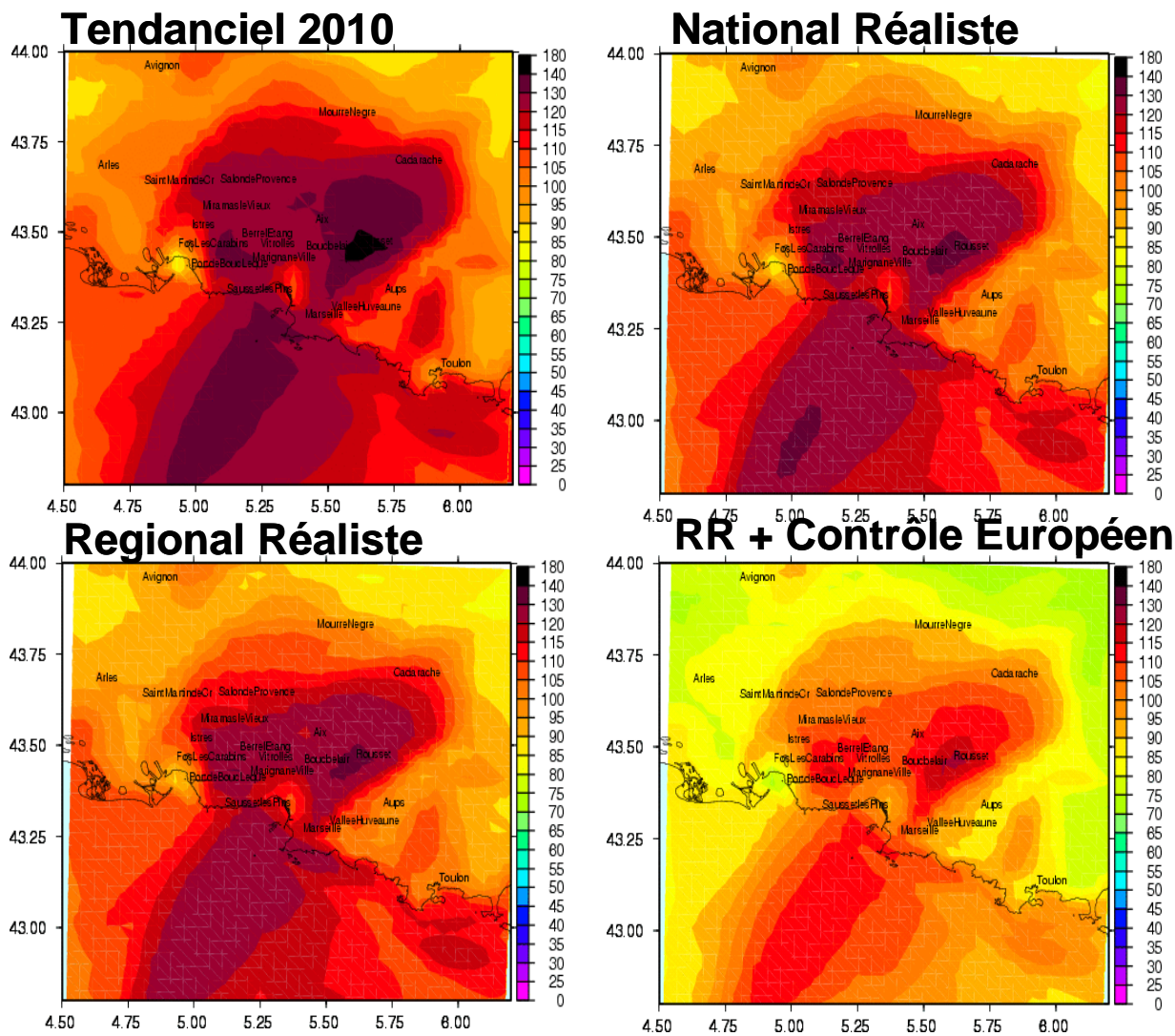


Figure 8. Concentrations d’ozone (en ppbv) simulées pour un jour type de l’étude, pour des situations 2010 différentes. De haut en bas et de gauche à droite : * sans effort sur les émissions, * avec l’application la plus probable des réglementations nationales, * avec l’application la plus probable des réglementations nationales et locales, * situation précédente avec application d’un contrôle européen des émissions.

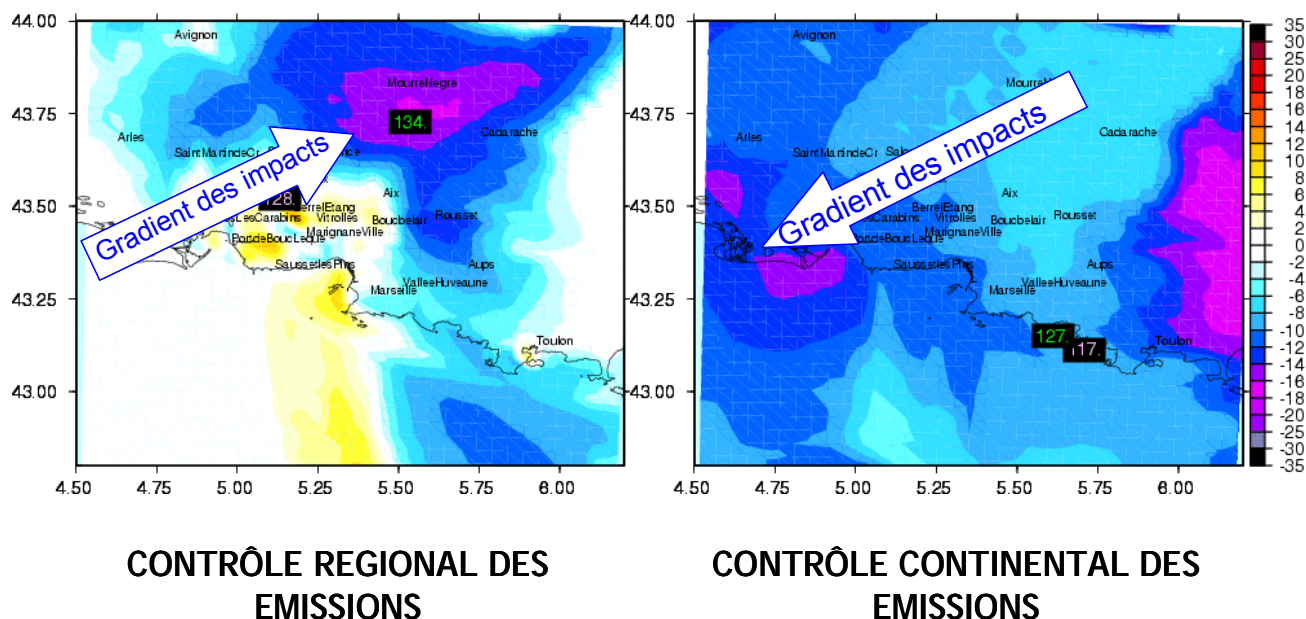


Figure 9. Impact (en ppbv) sur l’ozone local d’un contrôle local ou continental des émissions pour un jour type.

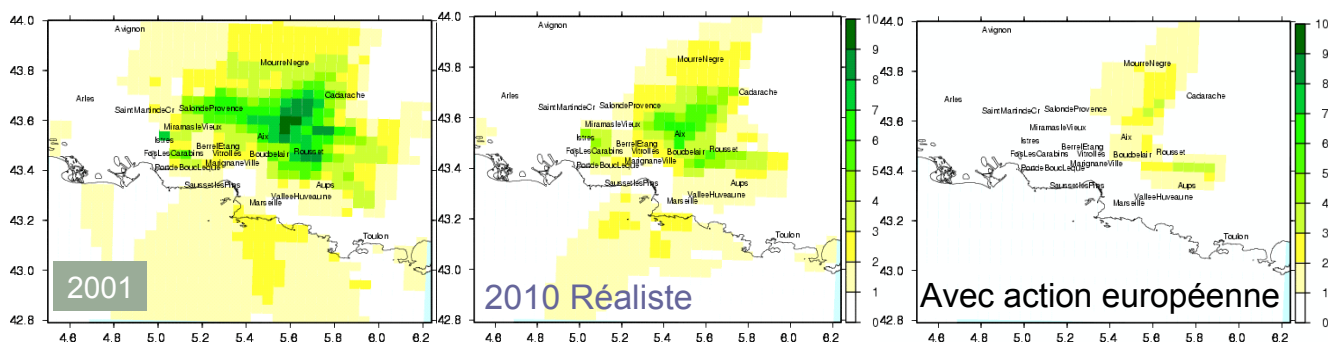


Figure 10. Nombre de dépassements de seuils cumulés sur les 24 journées simulées dans l’étude pour la situation de référence 2001 et deux situations 2010.

3. Conclusions

La mise en œuvre de nombreuses études de sensibilité et de scénarios d’émissions a permis de bien décrire la sensibilité de l’ozone aux émissions de ses précurseurs et d’apporter un retour scientifique de qualité sur les propositions de politique environnementale. Aujourd’hui les études scientifiques de ce type sont très bien intégrées dans les prises de décision au niveau européen.

Deux points inquiétants restent néanmoins d’actualité :

- L’observation de la baisse d’efficacité des réductions d’émissions - qui deviennent de plus en plus coûteuses au fur et à mesure que la réglementation se durcit, et de moins en moins significatives au vu des efforts déjà réalisés – alors qu’un effort supplémentaire apparaît nécessaire.
- La prévision d’une augmentation des concentrations moyennes hémisphériques en ozone du fait de l’augmentation mal contrôlée des émissions des pays en développement, et notamment les pays du continent asiatique.

Bibliographie

- [1] EPA (2007). Air pollution by ozone in Europe in summer 2006, EPA technical report N°5.
- [2] Seinfeld, J. (1989). Urban air pollution: State of the science. *Science*, 243, pp 743-752,.
- [3] Jiang Weimin Donald, Singleton L., Hedley M. & Mc Laren R. (1997) Sensitivity of ozone concentrations to VOC and NO_x emissions in the Canadian lower Fraser Valley, *Ztm. Env.* Vol 31 n°4, pp 427-438.
- [4] Couach O., Kirchner F., Jimenez R., Balin I., Perego S. & van den Bergh H. (2004). A development of ozone abatement strategies for the Grenoble area using modelling and indicators, *Atm. Env.*, 38, pp 1425-1436,.
- [5] Palacios M., Kirchner F., Martilli A., Clappier A., Martin F. & Rodriguez M.E. (2002). Summer ozone episodes in the Greater Madrid area. Analyzing the ozone response to abatement strategies by modelling, *Atm. Env.*, 36, pp 5323-5333.
- [6] Chameides W. L., Fehsenfeld F., Rodgers M. O., Cardelino C., Martinez J., Parrish D., Lonneman W., Lawson D. R., Rasmussen R.A., Zimmerman P., Greenberg J., Middleton P. & Wang T. (1992). Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere, *JGR Vol 97 n°5*, pp 6037-6055.
- [7] Altenstedt J. & Pleijel K. (1998). PCOP for individual VOC under European conditions, *IVL-Report n° B13-05*.
- [8] Carter W.P.L., & Atkinson R. (1989). A Computer Modeling Study of Incremental Hydrocarbon Reactivity, *Environ. Sci. Technol*, 23, 864-880.
- [9] Andersson-Skold Y. & Holmberg L. (2000). Photochemical ozone creation potentials (POCP) and replacement of solvents in Europe, *Atm. Env.*, 34, pp 3159-3169.
- [10] Metcalfe S.E., Whyatt J.D., Derwent R.G. & O'Donoghue M. (2002). The regional distribution of ozone across the British Isles and its response to control strategies, *Atm. Env.*, 36, pp 4045-4055.
- [11] Lasry, F. (2006). Analyse par modélisation tridimensionnelle des processus physico-chimiques déterminant la production d'ozone. Evaluation de l'impact de scénarios d'émissions prospectifs. Application au site ESCOMPTE. *Thèse de l'Université Paris 12-Val de Marne*, France, Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement.

12-JSE-2007-Coll-HAL-2007-12-13.doc (version du 13 décembre 2007)