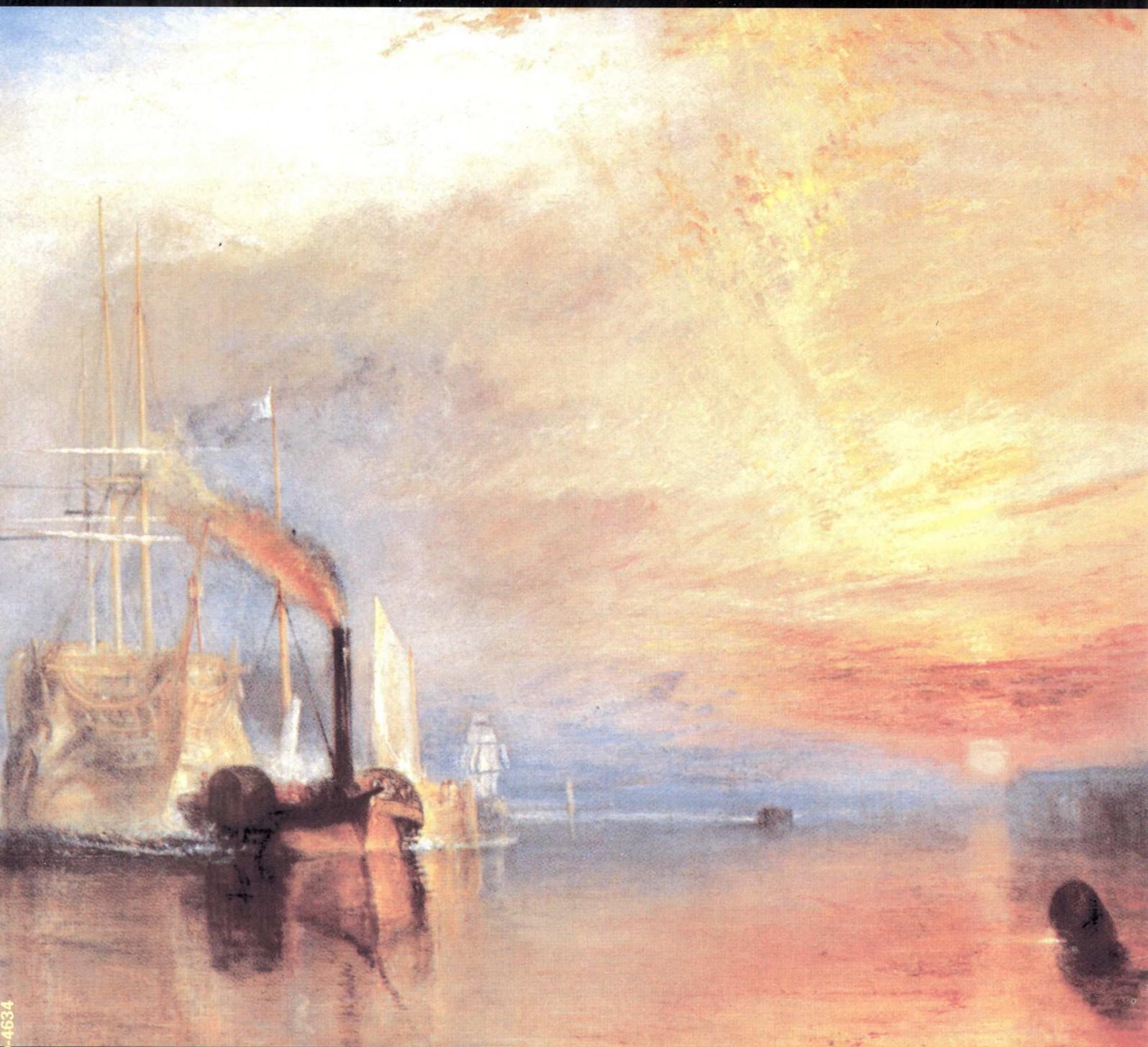


**P
L E C O Z M
E P O Z T**



**NOTRE ENVIRONNEMENT
ATMOSPHERIQUE**



Notre plus belle destination, c'est vous

*Aéroports de Paris
une porte ouverte
sur d'autres horizons*

*Servir les passagers dans les meilleures conditions.
Répondre aux besoins des compagnies aériennes,
et de nos partenaires. C'est la mission d'Aéroports
de Paris, l'entreprise gestionnaire du plus vaste
domaine aéroportuaire européen.*

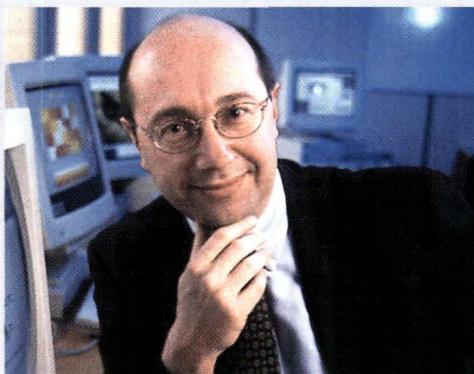
Parce que c'est vous, notre plus belle destination.

ADP
Aéroports de Paris

Parlez-nous de vous !

**L'AAENPC et l'AIPC innovent. "Parlez-nous de vous !";
voici l'esprit de ce supplément trimestriel à PCM Le Pont.
De l'élève en cours de scolarité au chef d'entreprise confirmé,
faites-nous part de vos trajectoires et de vos succès professionnels.
Cet encart, qui est le lien entre l'Ecole, nos associations
et votre activité professionnelle est votre outil de communication.
Utilisez-le, rendez-le intéressant, travaillez-y votre image
et celle que vous donnerez de l'Ecole.**

Dario d'ANNUNZIO



Pierre HAREN (IPC 78)
PDG d'ILOG

Réduire la complexité des autres n'est pas une mince affaire !

Que vous a apporté l'Ecole des Ponts dans votre parcours professionnel ?

Je n'ai passé qu'un an à l'ENPC, parce que j'avais échangé ma dernière année contre une année de Masters au MIT. J'ai gardé de l'Ecole le souvenir des cours d'informatique, plus concrets et intéressants que ceux de l'X, ainsi qu'une grande admiration pour la résistance des matériaux, une vraie discipline d'in-

génieurs. Pour le reste, l'Ecole m'a surtout permis de rentrer dans le cursus du MIT, dans un laboratoire où l'excellente réputation des Ingénieurs des Ponts, qui m'avaient précédé, m'a permis de choisir un excellent directeur de thèse.

Quelles étaient vos motivations pour quitter l'INRIA et vous lancer dans la création d'ILOG en 1987 ?

Nous avons des clients, et aucune entreprise ne voulait industrialiser nos produits d'Intelligence Artificielle, parce que le futur ne pouvait venir que des Etats-Unis à l'époque. C'est donc la fidélité à des clients tels que la Marine Nationale, Aérospatiale et le CSTB qui m'a poussé à créer ILOG.

Vous êtes parvenu à faire d'ILOG le premier fournisseur mondial de com- posants logiciels en C, C++ et Java. Comment voyez-vous la suite de votre parcours ?

Nous optimisons la planète, et il y a beaucoup à faire, des compagnies aériennes aux aéroports, des usines aux plans de transport, des portefeuilles d'actions aux prêts bancaires, sans compter toute la gestion du temps du personnel roulant, dans les compagnies aériennes, à la RATP, etc. Nous pouvons devenir une en-

treprise de 5 000 personnes qui réduit de la complexité et rend le monde plus fluide. Optimiser grâce à un logiciel le fonctionnement d'infrastructures lourdes, quel plaisir pour un Ingénieur des Ponts !

Votre aventure, commencée en 1987, serait-elle toujours possible aujour- d'hui ?

Elle serait très différente. Mais l'enthousiasme de la jeunesse et la fougue de l'inconscience sont toujours présents dans la génération suivante ! Et puis, nul n'est à l'abri d'un coup de chance, à condition de travailler...

Quelles recommandations pour- riez-vous faire à un diplômé de l'Ecole qui souhaiterait intégrer ILOG ou, plus généralement, votre secteur d'activité ?

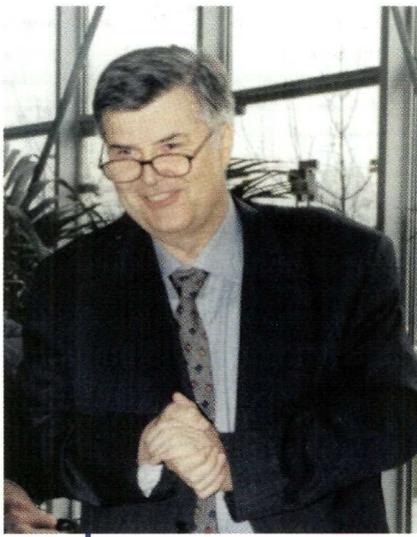
Pour intégrer ILOG, il faut être enthousiaste, et aimer la complexité. Parce que réduire la complexité des autres, ce n'est pas une mince affaire ! Plus généralement, les maths sont toujours utiles, mais le sens du contact humain et l'attrait de l'international sont de plus en plus requis dans ce métier, que ce soit pour des tâches techniques, de la vente, ou du management.

Supplément de la revue du PCM n° 4 (Commission paritaire n° 0605 G 79801)

**P
L E** **C
P O** **M
N T**

Pourquoi une "nouvelle" Ecole des Ponts ?

par Pierre VELTZ, Directeur



Dans un monde caractérisé par la globalisation des économies et des cultures, l'Ecole des Ponts a décidé de redéfinir son projet et de modifier profondément ses cursus et son organisation.

n'ont pas, en général, les grandes universités techniques étrangères. Pourquoi changer, dès lors ?

Le premier enjeu est l'internationalisation.

Avoir tenu les premiers rôles pendant une longue durée au sein d'une société française close sur elle-même ne suffit pas à garantir l'avenir. Il nous faut passer d'une ouverture internationale, déjà forte, à une véritable intégration internationale.

Le deuxième enjeu est la mutation des entreprises.

Elle redéfinit en profondeur le rôle des ingénieurs, qui ne sont plus des techniciens dans leur tour d'ivoire, mais de véritables acteurs de projets pluridisciplinaires et multiculturels.

C'est pourquoi nous avons engagé une refonte complète de nos cours et de nos cursus.

Notre Ecole dispose de grands atouts. Elle est reconnue par les employeurs, par le public étudiant et par l'opinion comme l'une des meilleures écoles françaises. Sa petite taille permet une pluridisciplinarité, une convivialité et une flexibilité des programmes que

Le projet stratégique de l'Ecole sera présenté en détail dans le prochain numéro de ce supplément à PCM-Le Pont.

Ils ont fait...



UN NOUVEAU DDE POUR LE VAL-DE-MARNE

Louis RUELLE (ICH 70)

Après avoir été directeur départemental de l'Équipement du Pas-de-Calais, Louis RUELLE a été nommé DDE du Val-de-Marne.

Ce département, qui compte près de 1,2 million d'habitants, se caractérise par sa très forte urbanisation, l'importance et la complexité de ses projets d'aménagement routier et urbain, et ses ambitions pour le développement de ses transports collectifs.

Louis.ruelle@equipement.gouv.fr

LA PASSION DU TRANSPORT FERROVIAIRE ET LA DEMARCHE QUALITE DANS LE METRO

Fabrice POGGI (CIV 97)



Avec cinq lignes certifiées NF Services, le métro parisien est pleinement entré dans une démarche d'amélioration du service rendu à ses clients. En charge, depuis quatre ans, de la qualité et des relations clientèle des lignes de métro de la RATP, Fabrice POGGI apporte aide et assistance aux équipes qui, chaque jour, participent aux déplacements de millions de franciliens. Être à l'écoute des clients, anticiper et amorcer les opérations de changement nécessaires constituent son engagement quotidien pour créer un nouvel élan dans une structure centenaire.

Fabrice.poggi@ratp.fr



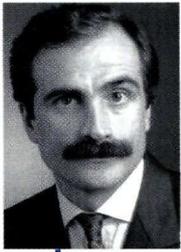
NOUVEAU PDG DE BOUYGUES IMMOBILIER

François BERTIERE (IFC 74)

François BERTIERE, après avoir été depuis 1998 Vice-Président-Directeur Général de Bouygues Immobilier, en devient le PDG. C'est après ses études à l'Ecole, un diplôme d'architecture et quelques expériences dans le public à l'Équipement et à l'Éducation Nationale, qu'il se lance dans l'immobilier. Tout d'abord en étant directeur du développement urbain de l'EPA de Cergy puis en intégrant Bouygues en 1985 au travers de France Construction.

Fbr@bouygues-immobilier.com

Les Ponts du Conseil



“Le Conseil est devenu un secteur de l'économie à part entière”

par René ABATE (70) - Senior Vice-President du Boston Consulting Group

Le Boston Consulting Group aide les directions générales à identifier, évaluer et mettre en œuvre les orientations majeures destinées à améliorer la performance économique et financière de leur entreprise. Nos missions tournent toutes autour de la recherche et du déploiement d'un avantage concurrentiel pour l'entreprise cliente. Cet avantage peut être directement associé à des produits, des technologies ou des services que cette entreprise met sur le marché, il peut découler d'une organisation efficace, réactive, ouverte et évolutive ou il peut être aussi atteint par le biais d'une acquisition ou d'une fusion. La richesse de ces champs d'intervention, mais aussi l'impact de ces missions sur l'organisation et l'avenir des entreprises, m'ont conduit à choisir le conseil, le BCG en particulier, et à y passer l'essentiel de ma carrière.

J'éprouve un enthousiasme toujours renouvelé dans l'exercice de ce métier. Le conseil est devenu un secteur de l'économie à part entière. On y trouve tous les leviers d'actions classiques : la R&D et les paris associés, la gestion des ressources humaines exigeantes et qualifiées, la recherche de nouveaux clients et leur fidélisation, la gestion de projets avec des équipes multifonctionnelles, le fonctionnement en temps réel sur l'ensemble du globe grâce à des moyens technologiques mais surtout au développement d'une culture commune. Une vingtaine d'anciens de l'Ecole des Ponts & Chaussées y apporte actuellement leur pierre et y trouve leur épanouissement. La compétence et la satisfaction de construire pour et avec leur client en sont sans doute à l'origine. Abate.rene@bcg.com

Le Conseil pour développer la flexibilité de l'Entreprise

par Dominique de ROBILLARD (80) créateur du cabinet MOVENDI

La volonté d'être un acteur clef des projets de changement de l'entreprise m'a conduit au métier de consultant. Après un début de carrière très international et mouvementé au sein du groupe Elf, j'ai par la suite cultivé un goût immodéré pour les projets de changement de l'entreprise flexible. Depuis 1990, de grands cabinets de conseil (Coopers&Lybrand, puis Bossard-Gemini) m'ont apporté leurs méthodologies, au demeurant complémentaires, tout en me donnant la possibilité d'assurer le développement de missions auprès de grands clients. C'est en recherchant le développement d'offres originales et les conditions de mon enthousiasme personnel, que j'ai été conduit à la certitude que la segmentation clients-produits de conseil des grands cabinets représente un frein manifeste à l'innovation et que le partage de concepts et d'idées nouvelles sur l'entreprise n'est possible que dans des équipes réduites.

C'est à partir de cette réflexion que Movendi est né. Conseil en management focalisé sur les changements de l'entreprise flexible, de l'orientation stratégique au résultat, Movendi offre les services

dont les dirigeants ont besoin : analyse stratégique, audit, recherche de partenaires, conception et pilotage de projet, développement des compétences et performance du changement.

Movendi s'adresse tout particulièrement aux Directions d'Entreprises ou Centres de Profit ne disposant pas des ressources nécessaires à leur développement et cherchant à accroître leur flexibilité. Movendi apporte des réponses adaptées à ses clients en faisant appel à des expériences de premier plan du changement d'entreprises et des projets complexes ou difficiles, dans l'industrie et les services, comme initiateur ou accompagnateur.

Enfin, je soulignerais quelques contributions utiles de la "culture Ponts" au métier de consultant :

- goût et expérience du management de l'entreprise, de sa politique, de ses projets, et de ses hommes,
 - savoir-faire dans l'analyse stratégique, le montage de projets complexes, le suivi de la performance,
 - capacités d'influencer durablement les dirigeants,
 - goût pour l'innovation et l'ouvrage unique.
- ddr@movendi.fr



“Développer une base technique solide, sans laquelle la crédibilité du consultant est peu probable”

par Jérôme WINTERHOLER (99) - Altran Technologies

Après ma sortie de l'Ecole, plusieurs facteurs m'ont aidé à faire mon choix. Le premier était l'envie de rester proche du milieu industriel, suite à ma formation Génie Industriel. Le second était de conserver une diversité dans mon activité, aussi bien sectorielle qu'au niveau des types d'activité et de l'ouverture à l'international. J'ai donc contacté divers groupes industriels aussi bien que des sociétés de service. Mon choix s'est finalement porté sur Altran Technologies car leur offre englobait ces différents aspects et proposait un type de gestion des ressources humaines qui m'a séduit. L'activité d'Altran technologie repose sur l'ensemble des métiers de l'ingénieur, depuis la R&D, jusqu'à la gestion de production en passant par la stratégie d'entreprise ou encore les systèmes d'information. Ainsi, lors de mon premier projet, je suis intervenu en tant que chef de projet développement et industrialisa-



tion pour un équipementier automobile. En revanche, mon prochain projet pourra être tout à fait différent et porter, par exemple, sur la mise en place d'un centre d'appel pour un opérateur télécoms. Une des nécessités du métier de consultant est d'avoir une curiosité intellectuelle permanente et une ouverture d'esprit assez large afin de s'adapter rapidement. Je pense que l'aspect pluridisciplinaire, l'ouverture internationale et le tissu associatif de l'Ecole sont des éléments majeurs qui permettent de préparer efficacement l'élève à la

fonction de consultant. En effet, cela permet de développer une base technique solide, sans laquelle la crédibilité et l'efficacité d'un consultant sont peu probables sans pour autant négliger le développement de l'aspect relationnel nécessaire à toute activité professionnelle.

Jerome.winterholer@aci-smv.com

AGENDA

7 juin - 20 h : Dîner du **Club des Ponts**. Intelligence économique : quels risques et quels atouts pour la France ? Avec Philippe CADUC, Directeur Général de l'ADIT.
Renseignements et inscriptions auprès d'Isabelle DELIN au 01 44 58 24 18

7 juin : Groupe PACA, visite du Port Autonome de Marseille.
Renseignements auprès de P. SUFFREN au 04 42 43 11 96

Du 11 au 14 juin : Congrès de l'**International Road Federation** au Palais des Congrès de Paris.
Renseignements auprès de Alain LE COROLLER (65) au 01 47 61 76 69

26 juin après-midi **Assemblées Générales de l'AIPC et de l'AAENPC**

Amphi Caquot
28, rue des Saints-Pères - Paris 7^e.
Renseignements :
01 44 58 24 85 (AIPC)
01 44 58 28 37 (AAENPC)

27 juin : Groupe Ouest, visite des chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire. Renseignements auprès de J. LARRIGNON au 02 40 99 88 50

13 septembre - 20 h : Dîner du **Club des Ponts**. La politique monétaire européenne est-elle crédible ? Avec Michel ALBERT, ancien Président des AGF, membre du Conseil de la politique monétaire de la Banque de France.

21 novembre - 20 h 30 : Dîner du **Club des Ponts** autour de Dominique de VILLEPIN, Secrétaire Général de la Présidence de la République. Nous évoquerons son dernier ouvrage "*Les cent-jours ou l'esprit de sacrifice*"

LES GROUPES PROFESSIONNELS SUR LE PONT

ROUTE

Le 9 mai 2001 s'est déroulée la visite du chantier du tunnel de l'A86 à Rueil-Malmaison (92)
Une seconde visite sera organisée à l'automne prochain

TELECOM - INFORMATIQUE

Le 14 mai 2001, ce groupe professionnel s'est réuni autour de Cyrille du PELOUX – Directeur Général de BULL – dans l'amphi Caquot (28, rue des Saints-Pères - Paris 7^e) sur le thème "*Groupe BULL : lancement d'Integris, nouveau pôle Européen de services informatiques*"

FINANCE

Le 22 mai 2001 à 19 heures - conférence donnée par Bernard POTTIER – Président du Directoire de CGU France – sur le thème "CGNU : deux fusions pour une stratégie dans l'assurance". Amphi Caquot (28, rue des Saints-Pères - Paris 7^e)
PAF : 120 F

TRANSPORTS

Le 25 juin 2001 à 19 heures : GALILEO, système de positionnement et de datation d'initiative européenne : un enjeu stratégique pour notre continent. Interventions de MM. MATHIEU (CNES) et GIBLIN (Conseil Général des Ponts et Chaussées)
PAF : 100 F

CLUB DES PONTS

Reprise des dîners du Club des Ponts le jeudi 7 juin 2001 à 20 h sur le thème de "**Intelligence économique ; quels risques et quels atouts pour la France ?**" avec Philippe CADUC – Directeur Général de l'Agence pour la Diffusion de l'Information Technologique –. PAF : 350 F

Renseignements et inscriptions auprès d'Isabelle DELIN : 01 44 58 24 18 ou par mail : isabelle.delin@mail.enpc.fr

ASSEMBLEE GENERALE DE L'AIPC ET DE L'AAENPC LE 26 JUIN 2001

**NOTRE ENVIRONNEMENT
ATMOSPHERIQUE**

Notre environnement atmosphérique <i>Pierre CARLOTTI</i>	5
La régionalisation du changement climatique <i>Serge PLANTON et Michel DEQUE</i>	9
Le réchauffement de la planète et ses conséquences <i>Julian HUNT</i>	13
Les défis scientifiques de la pollution urbaine <i>François CATON</i>	17
Ozone des villes, ozone des champs, qualité de l'air et pollution photochimique <i>Bruno SPORTISSE</i>	21
La loi sur l'air... sur le terrain <i>Anne GRANDGUILLOT et Jérôme MAYET</i>	27
Les aérosols, polluants atmosphériques <i>Brian GRASKOW</i>	31
La qualité de l'air dans les bâtiments <i>Raphaël SLAMA</i>	34

RUBRIQUES

Les ponts en marche	37
Pont emploi	41

Mensuel, 28, rue des Saints-Pères
75007 PARIS
Tél. 01 44 58 24 85
Fax 01 40 20 01 71
Prix du numéro : 58 F
Abonnement annuel :
France : 580 F
Etranger : 600 F
Ancien : 300 F

Revue des Associations des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Anciens Elèves de l'ENPC.

Les associations ne sont pas responsables des opinions émises dans les articles qu'elles publient.

Commission paritaire
n° 0605 G 79801

Dépôt légal 2^e trimestre 2001
n° 1676

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Dario d'ANNUNZIO

COMITE DE REDACTION

Philippe AUSSOURD
Jacques BONNERIC
Christophe de CHARENTENAY
Marie-Antoinette DEKKERS
Brigitte LEFEBVRE du PREY

Secrétaire général de rédaction

Adeline PREVOST
Assistante de rédaction

MAQUETTE : Christina L'HEVEDER

PUBLICITE : OFERSOP

Fabrication : Roland FRENARD
55, boulevard de Strasbourg
75010 Paris
Tél. 01 48 24 93 39

COMPOSITION ET IMPRESSION
IMPRIMERIE MODERNE U.S.H.A.
Aurillac

Couverture : le vaisseau de ligne
Téméraire remorqué à son dernier
mouillage pour y être détruit -
JMW Turner - 1938

**E
R
I
A
M
M
O
S**

LE LIDAR

Soucieux de rester à la pointe de la technologie en Environnement, l'INERIS vient de se doter d'un outil performant d'analyse et de surveillance de la qualité de l'air.



Le LIDAR (Light Detection And Ranging), sorte de radar optique, est un système d'analyse de la qualité de l'air, qui repose sur une technologie Laser. Il permet de mesurer à distance la concentration de différents polluants présents dans l'atmosphère et ainsi de les localiser à une distance pouvant être de plusieurs kilomètres.

On peut ainsi localiser des nuages de polluants, à moins de 10 mètres près, sur plusieurs kilomètres de distance, dans les diverses directions pointées par le LIDAR. Cela reviendrait à répartir 400 capteurs sur un fil de 3 kilomètres de long. On peut alors obtenir avec une bonne résolution spatiale, une cartographie en 3 dimensions de la concentration en un polluant donné comme par exemple : l'ozone, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, le benzène ou bien encore le toluène.

Principe de la technique LIDAR-DIAL

La technique LIDAR consiste à émettre des impulsions laser dans l'atmosphère et à analyser le rayonnement rétrodiffusé à la même longueur d'onde. Ce rayonnement est collecté par un télescope, en fonction du temps de transmission, donc de la distance. On utilise les propriétés d'absorption et de diffusion de la lumière par les particules (diffusion de Mie) et par les molécules (diffusion de Rayleigh).

Dans la pratique, on utilise l'absorption différentielle DIAL¹. La source laser émet simultanément dans l'atmosphère à deux longueurs d'onde, l'une désignée par λ_{on} qui est fortement absorbée par le gaz considéré et l'autre par λ_{off} qui est faiblement absorbée. En appliquant la loi de Beer Lambert, on détermine par différence la concentration du polluant recherché en fonction de la distance.

En balayant l'atmosphère en azimut et en élévation, on obtient ainsi les profils de concentration en 3D.

Les applications du LIDAR

- L'aide à l'implantation de capteurs fixes (optimisation du positionnement, redondance).
- La caractérisation 3D de la troposphère (horizontale, verticale, temporelle).
- La cartographie de sites non équipés ou non équipables (parcs naturels, zones classées).
- L'étude de l'influence des émetteurs fixes/mobiles (tunnel, axe routier, suivi de panache).
- L'étude de modulation d'émissions (feux, sens de circulation automobile).
- L'aide à l'étude épidémiologique (étude à l'échelle d'un immeuble).
- La validation/paramétrage de modèles photochimiques 3D (scénarii alternatifs).
- Le paramétrage de modèles dispersifs (panaches, émissions diffuses, ré envol).

Un exemple d'application : la campagne de mesure de l'ozone à Paris

La campagne de mesures s'est déroulée du 12 au 20 juillet 1999. Le LIDAR était placé contre le bâtiment de l'Ecole Militaire face à la Tour Eiffel et au Champ-de-Mars.

¹ Differential Absorption Lidar

Les mesures ont été réalisées dans un plan vertical sur une distance de 1 500 m et jusqu'à une altitude de 1300 m environ. Les tirs lasers ont été effectués selon cinq directions dont trois vers la Tour Eiffel. Celle-ci est instrumentée de capteurs de mesure de polluants de l'air (sur 3 niveaux) ainsi que de paramètres météorologiques (température sur 5 niveaux, vitesse et direction du vent au 3^e étage de la Tour Eiffel). L'ensemble de ces instruments est géré par l'association de surveillance de la qualité de l'air AIRPARIF. Les points de visée du LIDAR correspondaient aux niveaux de mesures de l'ozone sur la Tour Eiffel.

Résultats des mesures de l'épisode de forte pollution à l'ozone

Au cours de la campagne de mesures, une alerte à la pollution à l'ozone était prévue pour samedi 17 juillet. Nous avons donc décidé d'effectuer des mesures en continu pendant 3 jours (les 17, 18 et 19 juillet). Ceci nous a permis d'observer l'évolution spatiale et temporelle de l'ozone pendant l'épisode.

Des cartes d'isoconcentrations de l'ozone en fonction du temps ont été obtenues grâce aux balayages successifs.

Un diaporama a été réalisé et présente l'évolution du nuage d'ozone au cours de l'épisode des samedi 17 et dimanche 18 juillet 1999. Il montre des concentrations différentes au sol et en altitude où l'on observe un réservoir d'ozone. Au cours de la journée, alors que la température augmente, un brassage se produit pour aboutir à une homogénéisation des concentrations frôlant le niveau 1 d'alerte à 180 µg/m³ de 0 à 1500 m.

On peut noter que les mesures du samedi 17/07/99 ont été faites avec une faible puissance du laser, ce qui explique le manque de mesures en altitude. Elles ont une assez forte incertitude. C'est pourquoi les résultats commentés seront ceux obtenus à partir du dimanche 18/07/99 minuit (heure locale, TU + 2 heures).

Nous avons reporté les résultats des capteurs de température sur 3 niveaux (sol, 150 m et 300 m) et de vent à 300 m afin de corréliser l'évolution de l'épisode avec la situation météorologique locale correspondante.

Ainsi, ces cartes (du 17/07/99 - 7 h au 19/07/99 - 10 h) résument le diaporama. Elles montrent au cours de la nuit et de la matinée des niveaux d'ozone faibles à basse altitude (< 300 m) et des poches d'ozone au-dessus ; les effets convectifs se produisent à partir de 11 h/12 h pour aboutir à des concentrations élevées et homogènes (notamment dimanche 18 de 13 h à 21 h). Les températures étaient très élevées et la direction du vent avait changé à partir de 13 heures.

Les cartes isoconcentrations d'ozone obtenues sur un plan vertical le 18/07/99 à 8 h 15 d'une part et à 10 h d'autre part montrent des concentrations faibles au sol et plus élevées en altitude en début de matinée, puis un début de brassage vers 10 h sur la figure suivante.

Comparaison des mesures du LIDAR et des capteurs "AIRPARIF"

Les résultats obtenus par le LIDAR aux 3 niveaux de la Tour Eiffel sont tout à fait comparables à ceux d'AIRPARIF. Les différences peuvent s'expliquer par le fait que les mesures effectuées par AIRPARIF à la Tour Eiffel sont des mesures ponctuelles alors que les résultats LIDAR sont des moyennes (sur une distance de 200 m).

On voit que les concentrations d'ozone frôlent ou dépassent légèrement le seuil d'alerte 1 à 180 µg/m³. Cette limite a été dépassée localement.

Conclusion et Perspectives

La campagne de mesure a fourni des résultats extrêmement intéressants quant à la démonstration des possibilités de l'appareil et de l'apport déterminant qu'il représente, notamment pour l'étude de l'évolution d'un nuage d'ozone ainsi que pour le calage de modèles.

La comparaison des résultats du LIDAR et des analyseurs installés à poste fixe est également très satisfaisante.

Les études sur ce type d'instrument vont se poursuivre par des tests d'évaluation métrologique pour d'autres gaz (tels que le benzène et le toluène). Des essais comparatifs en tunnel mettront en œuvre des analyseurs à long trajet optique tels que le LIDAR et le DOAS, et des instruments ponctuels. De nouvelles campagnes de mesures sont envisagées : la prochaine se déroulera en juin sur la côte méditerranéenne dans la région de l'Etang de Berre.

Communications et publications

- **Ménard (T.) et al.** : Evaluation technique des instruments à télédétection optique : DOAS et LIDAR. *Analisis Magazine*, 26, 1998, n° 9, dossier p. M55-M59.
- **Ménard (T.) et al.** : Calibrage et évaluation de systèmes LIDAR. *Pollution Atmosphérique*, oct.-nov. 1998, p. 105-119.
- **Ménard (T.) et al.** : Evaluation et calibration d'un LIDAR DIAL - Expérience avec SO₂ et O₃. Atelier INSU, Météo France "Expérimentation et Instrumentation", Toulouse, 1-2 décembre 1998.
- **Weidauer (D.) et al.** : LIDAR calibration with internal gas cells. *International Symposium on Environsense*, Munich, 14-18 juin 1998, p. 422-427.
- **Ménard (T.) et al.** : Campagne de mesure de l'ozone à l'aide d'un LIDAR à Paris en été 1999. Premier colloque international "L'air de nos villes, l'affaire de tous" Paris 16-18 février 2000.

L'**INERIS** est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

Il a pour mission d'évaluer et de prévenir les risques accidentels ou chroniques pour l'homme et l'environnement liés à l'activité industrielle, aux substances chimiques et aux exploitations souterraines.

De la recherche aux missions d'expertise l'**INERIS** met ses compétences au service des pouvoirs publics, des collectivités locales et des entreprises afin de les accompagner dans leurs actions de prévention des risques et de protection de l'environnement et de la santé.

Un expert au service de la sécurité environnementale

INERIS

INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Parc Technologique Alata - B.P. N° 2
60550 Verneuil-en-Halatte
Tél. : 03 44 55 66 77 - Fax : 03 44 55 66 99
www.ineris.fr

**Pour
optimiser
les performances
de votre station,**

**nous débordons
de solutions.**

Spécialiste des gaz industriels et services associés, Air Liquide invente des solutions qui contribuent à la performance de ses clients et à l'amélioration de l'environnement.

Notre expérience de la mise en œuvre des gaz industriels pour le traitement des eaux et notre connaissance de vos process (potabilisation, traitement des effluents, traitement des boues), nous permettent aujourd'hui de vous accompagner efficacement dans l'exploitation de votre station et dans son évolution.

Pour plus d'informations :
Tél. : +33 1 39 07 61 32 - Fax : +33 1 39 56 98 10
ou consultez notre site www.airliquide.com



 **AIR LIQUIDE**

Imaginez ce que pourrait être votre performance



Notre environnement atmosphérique

La presqu'île de Sorrente dans la brume : humidité naturelle ou pollution ?

***Ce premier article est une tentative de présentation du numéro thématique.
La distinction entre les différents types de problèmes que pose notre environnement
atmosphérique selon les échelles mises en jeu est introduite.***

Pierre CARLOTTI
IPC 98

Université de Cambridge et Météo France

Introduction

Depuis quelques années, tous les soirs, la télévision présente un "indice de qualité de l'air". Les discussions sur la pollution atmosphérique font partie du répertoire du café du commerce, au même titre que le temps qu'il fait, la politique économique ou le football. On pourrait avoir l'impression que la pollution atmosphérique est un problème nouveau. De plus, les "solutions" présentées par certains font croire à un problème simple. Il n'en est rien. Le ciel brumeux sur l'horizon, que l'on attribue en général à la pollution automobile, se rencontre déjà sur les tableaux de la Renaissance (figure 1). En 1820 à

Londres, une robe blanche le matin est grise le soir à cause des particules émises par la combustion du charbon, selon les mémoires de la comtesse de Boigne. Dans les années cinquante, toujours à Londres, les épisodes de "smog" étaient fréquents. Celui de décembre 1952 aurait fait 4 000 victimes (cf. le serveur Internet de l'Institut de veille sanitaire, http://www.rnsp-sante.fr/publications/Pics_Pollu/dossier.html). Il s'agissait essentiellement de pics de pollution aux particules et au dioxyde de soufre, qui ont pratiquement disparu en Europe dès les années soixante-dix.

La pollution atmosphérique est aussi un problème complexe. Le terme recouvre des dangers très divers, les émissions de grandes quantités de gaz très toxiques (accidents de containers d'ammoniac par exemple) et des phénomènes sans effets directs sur la santé humaine, comme les émissions de dioxyde de carbone.

La résolution d'un problème particulier peut en créer d'autres. Par exemple, on nous invite à utiliser le moins possible de combustibles fossiles pour limiter les émissions de dioxyde de carbone. Mais remplacer un chauffage au gaz par un chauffage au bois ou au charbon de bois aurait pour effet de disperser dans l'atmosphère de grandes quantités de particules et de dioxyde de soufre.

C'est parce que le problème est complexe que je pense qu'il serait plus adapté de parler de notre **environnement atmosphérique**, plutôt que de parler indistinctement de pollution. De plus, le mot pollution est inconsciemment marqué dans notre esprit par son étymologie religieuse (polluer une église, au sens propre, c'est la profaner, y commettre un sacrilège), à l'opposé du recul que demande l'esprit d'analyse de l'ingénieur.

L'objectif de ce numéro thématique de PCM-Le Pont est de mettre en lumière certains aspects de notre environnement atmosphérique. Pour cela, il est d'abord nécessaire de discuter les différentes échelles mises en jeu.

Les échelles de l'environnement atmosphérique

La complexité des problèmes d'environnement atmosphérique vient en partie de la grande diversité des

échelles mises en jeu. Par exemple, l'échelle des problèmes dits "d'effet de serre" est la Terre tout entière ; celle de la pollution photochimique aux oxydes d'azote est l'agglomération, la ville ; celle de la qualité de l'air intérieur est l'échelle du bâtiment considéré. Bien entendu, tous ces problèmes sont liés de façon plus ou moins proche. Par exemple si l'air frais qui entre dans un bâtiment est déjà fortement pollué, sa qualité ne pourra guère s'améliorer. Les professionnels parlent de *pollution globale* pour les problèmes à l'échelle du globe, *pollution méso-échelle* pour les problèmes à l'échelle des agglomérations, *pollution locale* quand il s'agit de l'impact d'une source de polluants localisée sur quelques dizaines ou centaines de mètres alentour, et *micro-locale* quand l'échelle est plus petite. Cette distinction peut paraître artificielle, mais elle est nécessaire pour toute approche rationnelle de la pollution, ne serait-ce qu'à cause de la capacité de calcul très limitée (et qui restera limitée encore longtemps, vu l'énormité des besoins) de nos ordinateurs.

Plus l'échelle est petite, plus les effets sur l'homme sont graves et immédiats. Le monoxyde de carbone est un poison, il entraîne la mort à des concentrations relativement faibles, et la plupart des problèmes liés au monoxyde de carbone ont lieu à l'intérieur des bâtiments, à toute petite échelle. A l'autre extrémité de l'échelle, le dioxyde de carbone ne pose pas de problème de santé publique (à une concentration de 3 % dans l'atmosphère, contre moins de 0,03 % actuellement, il ne poserait pas de problème respiratoire aux animaux et aurait un effet bénéfique sur la croissance des végétaux). En revanche, ce sont ses effets indirects qui sont craints, à cause de ses capacités d'absorption des rayonnements infrarouges.

Une approche d'ingénieur

Face à notre environnement atmosphérique, plusieurs attitudes sont possibles. Toutes ces approches reposent sur une grande technicité, mais leurs optiques sont différentes. Le scientifique cherchera à comprendre tel phénomène, le politique cherchera à réglementer tel problème. La place de l'ingénieur se situe entre les deux. Il doit être capable de comprendre les enjeux des



Vierge à l'enfant avec saint Jean-Baptiste, dite "La belle jardinière", Raphaël, Musée du Louvre ; les brumes visibles à l'arrière-plan sont-elles l'évidence d'une pollution atmosphérique (semblable au fameux "smog photochimique" produit par les véhicules routiers) en Europe dès la Renaissance ?

recherches universitaires, mais aussi les choix que doivent faire les politiques.

Prenons l'exemple des modèles climatiques. Concevoir un modèle de climat parfait, qui permette de prévoir précisément le climat dans les prochaines décennies, c'est le travail du scientifique. Celui de l'ingénieur est bien plutôt de voir si on peut s'opposer à l'évolution prévue par les modèles, et sinon, de voir les conséquences possibles de tel ou tel changement climatique. Dans cette optique, peu importe de savoir si le climat change pour des raisons humaines ou non. Ce qui importe est que le climat a des variations et que si ces variations sont correctement modélisées par les scientifiques, le climat va continuer à changer sur les cinquante prochaines années. Il devra aussi analyser les conséquences de toutes les "bonnes idées" que l'on peut avoir. Peut-on réellement réduire les émissions de combustibles fossiles sans mettre en danger le droit zéro de l'être humain, à savoir la survie, dans les pays en voie de développement ? Si par exemple les scientifiques nous disent qu'il faut diviser par deux notre consommation d'énergie fossile en cinq ans afin d'enrayer le changement climatique, les pays riches y arriveront peut-être, mais comment feront les autres ? On parle à tort de civilisation de plus en plus sensible au climat. Il faut garder une mémoire historique des événements. Par exemple, le recul des glaciers est-il la preuve du réchauffement d'origine humaine de la planète ? Il faut lire dans l'excellente monographie d'Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire du climat depuis l'an mil*, les récits poignants de l'avancée rapide des glaciers alpins au tournant du 17^e siècle, avec des hameaux détruits et des terres arables perdues avant de conclure un peu vite que tous les changements de notre environnement atmosphérique sont une conséquence de l'imprudence de l'homme moderne. Dans la France d'ancien régime, soi-disant moins sensible aux effets climatiques, un mauvais hiver entraînait la famine (seize famines générales en France au dix-huitième siècle, par exemple, cf. F. Braudel, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*). N'oublions pas les bienfaits de la société moderne. Seule la consommation d'énergie a écarté le spectre de la famine des pays occidentaux, énergie pour produire, énergie pour transporter.

L'ingénieur doit donc analyser les conséquences pratiques du changement attendu et, si l'on croit les conclusions des modèles climatiques, inéluctables.

C'est ce que les pays anglo-saxons appellent la "mitigation". Les Pays-Bas ont récemment voté un texte qui dit que pas une parcelle de terre hollandaise ne sera rendue à la mer. Il s'agit là de l'exemple parfait d'une décision politique prise après une analyse de ses difficultés et de ses coûts par les ingénieurs.

Il ne faut pas scientificiser la science, et garder vis-à-vis d'elle un comportement critique. Ceci est rappelé de façon amusante et involontaire par une circulaire du Ministère de l'intérieur. Elle explique que les ouragans et inondations exceptionnels des dernières années sont probablement dus au changement climatique, et donc qu'un rapport a été demandé à l'Académie des Sciences. Cette dernière suggère que ce changement pourrait être dû à la coupe excessive de forêt qui aurait modifié le frottement du vent sur le sol. Le but de la circulaire est de recueillir des statistiques sur les surfaces forestières. Cette circulaire date de 1821, et personne ne se souvient des événements climatiques en cause ; quant aux surfaces forestières, elles croissaient à cette époque. Ce qui est certain, c'est que le changement climatique des années 1810-1820 était une illusion à l'échelle du globe, même si les disettes en France (1811, 1816-1817), en Angleterre (1812-1813), voire la famine en Bavière (1816-1817) montrent que ces hivers froids n'étaient que trop réels en Europe.

Peut-être dans un siècle rira-t-on de la naïveté de l'homme du début du 21^e siècle qui se croyait capable de prédire le climat avec ses ordinateurs, et l'histoire du réchauffement climatique sera enseignée comme un exemple classique d'illusion collective. La science apporte des informations d'un intérêt considérable pour qui veut les regarder avec recul, mais peut devenir l'instrument d'une dictature technologique qu'il faut éviter. La science de l'ingénieur doit être un humanisme.

Les ingénieurs des Ponts et Chaussées sont trop souvent vus comme constituant le noyau dur de ce que certains appellent le lobby routier. Ceci ne fait que renforcer l'exigence d'une prise en compte des problèmes d'environnement atmosphérique. L'Ecole des Ponts et Chaussées a mis en place depuis quelques années déjà des enseignements sur la pollution atmosphérique. Le CEREVER, centre de recherche de l'ENPC, organise conjointement avec l'INRIA cette année la deuxième conférence APMS consacrée à la pollution à moyenne échelle. Les anciens élèves ne doivent pas rester à l'écart de ce débat passionnant. ●



Naples vue de la Chartreuse Saint-Martin : le Vésuve masqué par la brume.

Présentation des articles

Ce numéro tente donc de rassembler des articles sérieux écrits dans cet esprit. Les deux premiers articles concernent les problèmes climatiques. L'un, de Serge Planton et Michel Dequé, fait le point de ce que l'on pense acquis aujourd'hui, et l'autre, de Julian Hunt, est plus une tribune personnelle (l'article de J.C.R. Hunt ainsi que celui de B. Graskow ont été traduits de l'anglais ; je remercie F. Michel d'avoir relu mes traductions). Ensuite le problème de la pollution à moyenne échelle est présenté par François Caton, et cette image est complétée par Bruno Sportisse. On oublie trop souvent les risques liés aux particules ; Brian Graskow propose une rapide introduction à ces problèmes. Enfin, la question de la qualité de l'air à micro-échelle, à l'intérieur des bâtiments, est abordée. On l'oublie en général dans les débats sur la pollution, mais les concentrations de polluants dans les habitations sont parfois très élevées. Par exemple dans une cuisine équipée au gaz de ville, le taux d'oxydes d'azote est de 5 à 10 fois supérieur au seuil d'alerte en agglomération : ils sont créés par la combustion du gaz naturel.

En espérant que ce numéro thématique apporte une pierre à l'édifice de la compréhension de notre environnement atmosphérique, je vous souhaite une bonne lecture.

Pierre CARLOTTI

La régionalisation du changement climatique

Les événements extrêmes (tempêtes, cyclones, pluies diluviennes, sécheresses...) ont un fort impact sur la société mais la question de savoir si le changement climatique s'accompagne d'une évolution de la fréquence ou de l'intensité de ces événements n'est pas complètement résolue. Nous abordons dans cet article la question de savoir si le changement climatique observé sur les dernières décennies s'accompagne d'une évolution significative des caractéristiques statistiques de ces événements. Nous introduisons ensuite les méthodes de régionalisation des scénarios de changement climatique destinées à mettre en évidence une éventuelle évolution future de ces propriétés statistiques. Nous présentons enfin un exemple de scénario de régionalisation dynamique réalisé récemment au CNRM et les premiers résultats concernant l'évolution simulée sur l'Europe pour la fin du siècle.



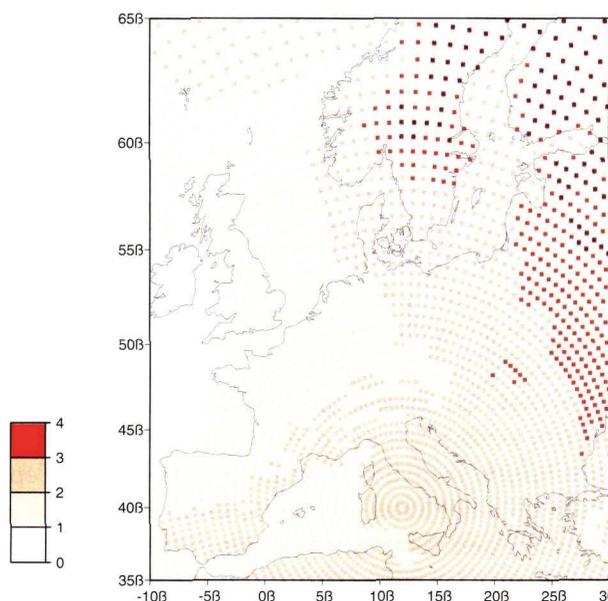
Serge PLANTON et Michel DEQUE sont ingénieurs/chercheurs au Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) dépendant de Météo-France. Tous deux polytechniciens de formation, ils ont une expérience de plus de 15 ans dans le domaine de la recherche sur le climat et sa modélisation numérique.

Changement climatique et événements extrêmes

Certains impacts globaux du changement climatique liés à la modification de la composition chimique de l'atmosphère sont évoqués dans l'article de Julian Hunt. Il mentionne notamment l'augmentation des risques de décès dus aux fortes vagues de chaleur, un cas typique d'impact lié à une modification de la fréquence et de l'intensité d'événements extrêmes climatiques. A l'exemple des vagues de chaleur, l'ensemble des événements climatiques extrêmes (tempêtes, cyclones, pluies diluviennes, sécheresses...), ont un fort impact sur la société. Il est donc particulièrement important d'évaluer si le réchauffement global observé au cours des 140 dernières années (entre 0,4 et 0,80° C) et attendu pour les prochaines décennies, s'accompagne et s'accompagnera d'une évolution des caractéristiques statistiques de ces événements.

La première question concernant l'observation se heurte à une difficulté majeure inhérente au type de phéno-

mène étudié. Une analyse statistique des événements extrêmes, rares par définition même, requiert des séries de données couvrant l'occurrence d'au moins une dizaine de cas. Cette contrainte fixe une limite au type de phénomènes que l'on peut étudier avec les séries dont on dispose. Les premières observations météorologiques conventionnelles sont approximativement datées de 1860, date à laquelle les premiers réseaux d'observation permanents ont été mis en place. Plus loin dans le passé, on dispose de quelques séries historiques ponctuelles de mesure de la pression ou de la température et d'indicateurs indirects du climat tirés de l'analyse



Variations en °C de températures en surface moyennes d'hiver (décembre-janvier-février) simulées entre la période 2070-2100 et la période 1960-1990 sous les conditions d'un scénario de modification de la composition chimique de l'atmosphère.

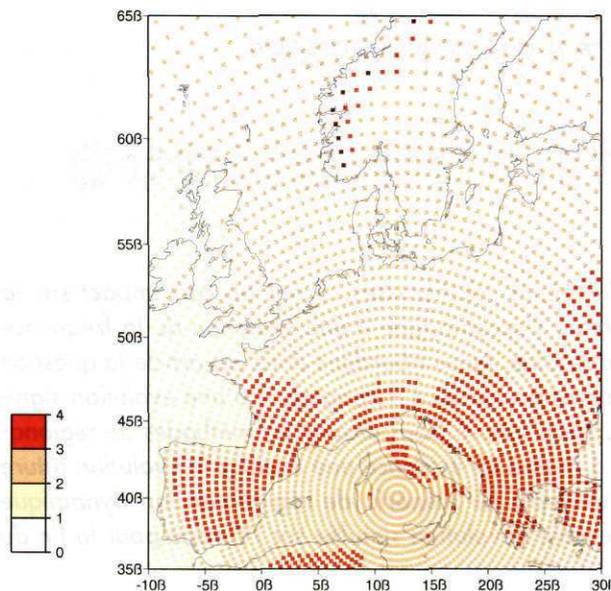


Figure 2 : comme sur la figure 1 mais pour les températures d'été (juin-juillet-août).

de carottages glaciaires, de cernes d'arbres, de coraux, etc. Les données disponibles sont donc souvent de trop courtes durées pour l'étude des phénomènes les plus intenses, comme c'est le cas pour les tempêtes de décembre 1999 qui ont dévasté la France.

Des recherches sont actuellement conduites pour tenter d'extraire des archives des observations humaines ou des archives naturelles, l'information nécessaire à l'analyse statistique de certains événements extrêmes. Il ressort en particulier des études conduites jusqu'à ce jour, qu'il n'y a pas en France d'augmentation significative du nombre et de l'intensité des tempêtes sur les cinquante dernières années. Cette étude ne porte que sur des événements suffisamment fréquents pour être étudiés sur une période aussi courte et se produisant donc plusieurs fois chaque année. Plus généralement, les études menées en Europe concluent à une variabilité décennale et multidécennale du nombre et de l'intensité des tempêtes dans toutes les régions d'analyse, sans que l'on note de tendance de signe constant au cours du XX^e siècle. Il n'y a pas non plus de tendance à l'augmentation du nombre des événements de précipitations diluviennes sur le Sud-Est et la Corse sur la période 1958-1994. On observe toutefois dans de nombreuses régions situées aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord, une augmentation du nombre d'épisodes de pluies fortes (le seuil de caractérisation est ici nettement plus faible que celui des pluies diluviennes), conduisant à une évaluation de 2 à 4 % de l'augmentation de la fréquence de ces événements sur la deuxième moitié du siècle dernier.

La deuxième question posée concerne l'évolution future des propriétés statistiques des événements extrêmes

en liaison avec l'impact croissant des activités anthropiques sur le climat. Comme le montrent déjà les observations, les projections du changement climatique sur l'occurrence et l'intensité des événements extrêmes dépendent parfois fortement des régions du globe auxquelles elles s'appliquent. Dans le cas des tempêtes notamment, certaines études concluent à une modification de la trajectoire moyenne des événements impliquant que certaines régions pourraient être plus touchées et d'autres moins. La régionalisation de l'analyse du changement climatique et de ses impacts est donc une nécessité. Elle rejoint en partie les préoccupations des décideurs politiques et économiques qui souhaitent avoir des informations de plus en plus précises, souvent à l'échelle d'un pays particulier, même si ce n'est pas nécessairement l'échelle qui convienne le mieux à la description des phénomènes climatiques.

Construction des scénarios régionaux

Comme indiqué dans l'article de Julian Hunt, les simulations du changement climatique portent sur un à deux siècles. La complexité du fonctionnement du système climatique exige par ailleurs qu'un nombre croissant d'interactions soit pris en compte entre l'atmosphère, l'océan, les zones couvertes de neige ou de glace, la végétation, etc. Les simulations de ce type sont très coûteuses en temps calcul et ne peuvent donc être réalisées qu'avec des modèles ne décrivant au mieux que des échelles spatiales de quelques centaines de kilomètres. Or les événements extrêmes sont souvent d'échelle spatiale plus faible, de l'ordre de la centaine de kilomètres pour les cyclones ou les systèmes fron-

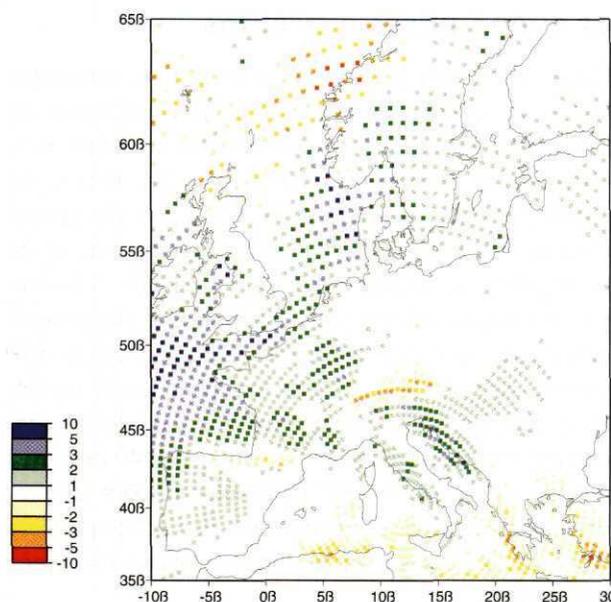


Figure 3 : comme sur la figure 1 mais pour le nombre de jours en hiver où les précipitations dépassent le seuil de 10 mm/jour.

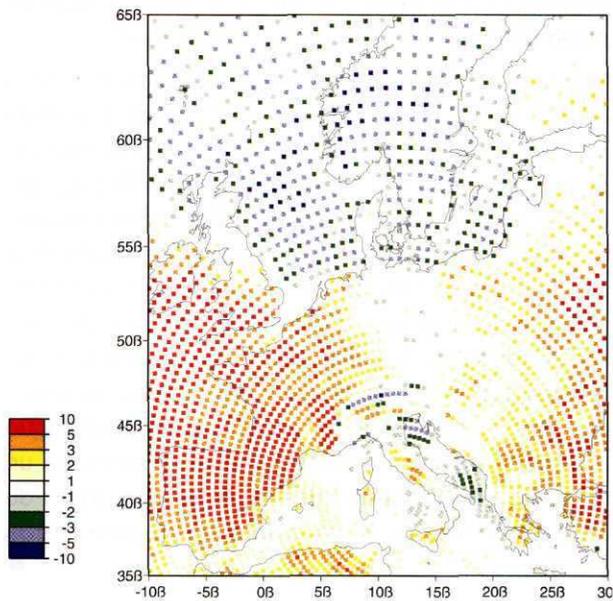


Figure 4 : comme sur la figure 1 mais pour le nombre de jours en été où les précipitations sont inférieures au seuil de 0,5 mm/jour.

taux précipitants des moyennes latitudes, plus faible encore pour les systèmes convectifs associés aux pluies diluviennes. De même, certains phénomènes extrêmes sont très intenses mais de très courte durée et sont donc inaccessibles à la simulation par les modèles climatiques. La question qui se pose alors est celle de la réduction des échelles spatiales et temporelles simulées pour représenter l'impact du changement climatique sur les événements extrêmes.

Deux classes de méthodes sont utilisées pour obtenir ce résultat. La première fait appel à des techniques statistiques qui consistent à tenter de relier les caractéristiques moyennes des événements extrêmes à des paramètres de plus grande échelle spatiale ou temporelle que les modèles sont capables de représenter. Un exemple typique est celui qui consiste à rechercher dans les séries observées celles qui se corrélaient le mieux aux séries simulées sur leur domaine commun de variabilité temporelle. Les séries observées ainsi associées aux séries simulées pour les conditions d'un changement climatique peuvent être alors utilisées comme des analogues de séries non encore observées. On dispose ainsi d'une meilleure représentation des événements extrêmes que celle que l'on peut obtenir à partir des modèles seuls. L'avantage majeur de ces méthodes est qu'elles sont le plus souvent peu coûteuses à mettre en œuvre. Par contre, elles s'appuient sur la stabilité des relations statistiques entre paramètres d'échelles différentes en faisant l'hypothèse que les relations mises au point sur le climat présent restent valables dans les conditions d'un climat modifié. Or cette stabilité n'est pas garantie.

La deuxième classe de méthodes fait appel à la régionalisation dynamique. Dans ce cas on utilise un modèle de simulation du climat dont les boîtes élémentaires (voir article précédent) ont des tailles plus petites et donc plus comparables à celles des modèles de prévision météorologique. Du fait de leur coût prohibitif, ces modèles ne simulent en général que les évolutions de l'atmosphère (à l'exclusion de l'océan) et sur une période de temps limitée au plus à quelques décennies. Les modifications des températures océaniques en particulier liées à celles des courants marins ou les modifications de couvertures de banquise, sont alors prescrites suivant les résultats des simulations réalisées avec les modèles de plus grande échelle. De plus ces modèles ne sont pas généralement globaux mais couvrent un domaine d'aire limitée aux frontières duquel les paramètres atmosphériques sont aussi prescrits suivant les résultats des modèles de plus grande échelle. L'avantage majeur est ici que les événements extrêmes sont mieux décrits par les échelles spatiales et temporelles simulées. Outre le coût élevé de mise en œuvre de ces méthodes, le principal inconvénient est que les défauts systématiques des modèles régionaux sont souvent les mêmes que ceux des modèles de grande échelle dont ils sont issus.

Un scénario de changement climatique pour l'Europe

Pour une région particulière de la planète, la fourchette d'incertitude sur le changement du climat moyen et l'évolution des extrêmes climatiques est très large, quelles que soient les méthodes de régionalisation utilisées. Cette fourchette s'explique par les incertitudes sur les scénarios de modification de la composition chimique de l'atmosphère, par les incertitudes sur la représentation des processus de rétroaction qui se produisent dans le système climatique ou encore par le caractère en partie chaotique du climat. Il importe donc de considérer des ensembles de scénarios climatiques obtenus au moyen d'ensembles de simulations numériques impliquant plusieurs modèles (de grande échelle ou régionaux). Les résultats qui suivent sont issus d'un scénario de régionalisation dynamique réalisé récemment au CNRM et ne sont donc présentés ici à titre d'illustration.

La première étape a consisté à simuler un scénario de changement climatique à grande échelle prenant en compte l'évolution de l'océan et une variation de la composition chimique de l'atmosphère sur la période 1999-2100. L'étape suivante a consisté à simuler le climat des 30 dernières années puis le climat de la période 2070-2100, en prescrivant les températures de surface de la mer et les extensions de banquise calculées par le scénario de grande échelle. Au contraire de

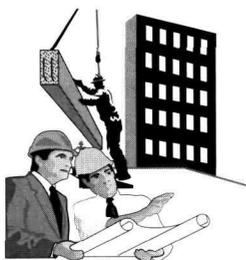
la plupart de ses homologues, le modèle régional utilisé a ici l'originalité de représenter l'atmosphère sur l'ensemble du globe mais au moyen de pavés élémentaires de tailles variables (50 km sur la Méditerranée et 450 km à l'antipode).

Les cartes de différences de température moyenne d'hiver et d'été en surface entre le climat simulé pour la fin du siècle et le climat présent, montrent un réchauffement en accord général avec les résultats obtenus par la plupart des autres groupes de recherche climatique. Le réchauffement est de l'ordre de 2°C sur l'Europe mais apparaît toutefois moins marqué en hiver. De nombreuses régions du sud de l'Europe ont aussi tendance à se réchauffer davantage en été. Un autre résultat présenté ici a trait aux extrêmes climatiques. Il concerne l'augmentation au cours du siècle du nombre de jours de pluies fortes en hiver sur l'Europe de l'ouest et l'aug-

mentation sur la même période du nombre de jours de pluies faibles en été au sud-ouest de l'Europe.

Malgré le degré de confiance élevé que l'on accorde à ce dernier résultat du fait de la longueur de la période simulée, les seuils définis pour ces extrêmes sont encore trop éloignés de ceux des événements qui ont un impact très fort sur la société. Des progrès doivent être encore réalisés par la combinaison des approches de régionalisation dynamique et statistique, la confrontation des résultats d'ensembles de simulations, l'amélioration de la qualité des modèles. Grâce à ces progrès accompagnés de ceux des moyens de calcul, on peut penser que la communauté scientifique sera d'ici quelques années à même de produire un consensus sur l'évolution des extrêmes climatiques du siècle prochain pour les différentes régions de la planète. ●

CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES DE L'INDUSTRIE DU BÉTON



Bâtir durablement l'avenir

L'évolution des techniques, les contraintes des marchés, nécessitent une industrie du béton toujours plus performante. Le CERIB participe à cet effort, principalement par ses activités collectives mais aussi par des prestations individuelles.

- **Matériaux** : étudier des matériaux toujours plus performants.
- **Activités productives** : améliorer la sécurité et les conditions de travail, faire progresser les techniques de production génériques par une meilleure maîtrise des procédés.
- **Qualité** : élaborer des méthodes et outils de gestion de la qualité, définir les référentiels de certification et contribuer à la normalisation performantielle des produits.
- **Produits-ouvrages** : étudier les caractéristiques des produits en regard des ouvrages, concevoir

des méthodes d'utilisation et de mise en œuvre afin d'obtenir des gains mesurables sur les coûts de réalisation et d'exploitation, participer à l'élaboration des textes de référence.

- **Environnement** : identifier l'impact environnemental des produits et leur recyclage, développer l'utilisation de sous-produits industriels.
- **Promotion/Information** : concevoir des outils pédagogiques pour les enseignants du BTP, développer des argumentaires technico-économiques valorisant les produits en béton.

CERIB

B.P. 59 - 28231 Épernon Cedex
Tél. 02 37 18 48 00 - Fax 02 37 83 67 39
e.mail : cerib@cerib.com - www.cerib.com

Accréditations



ESSAIS n° 1-0001
ÉTALONNAGES : Masse n° 2-1161 - Force n° 2-1019 - Pression n° 2-1132
CERTIFICATION DE PRODUITS INDUSTRIELS ET DE SERVICES n° 5-002/96
(portées communiquées sur demande)

Mandaté



et



pour la certification de produits



Le réchauffement de la planète et ses conséquences

Dans le présent article est exposé un acte de foi en la technique, selon lequel le scientifique "applied mathematician" (c'est-à-dire l'ingénieur, en français courant) a sa place dans le débat climatique, et a le devoir d'y intervenir.

Julian HUNT

Il est professeur de physique du climat à l'University College de Londres. Il a dirigé le Meteorological Office (équivalent britannique de Météo France) de 1992 à 1997. Il est Fellow of the Royal Society depuis 1989. Il siège à la Chambre des Lords depuis avril 2000 (traduction : Pierre CARLOTTI).

Changements de l'environnement terrestre et climat

Le climat terrestre, de même que l'environnement général à la surface de la Terre, a connu des variations importantes et nombreuses au cours de l'histoire de la planète. Il y a eu des variations de la température moyenne de la planète de l'ordre de cinq degrés durant les 10 000 dernières années. Elles ont été causées par des changements de la composition des gaz « à effets de serre » dans l'atmosphère, en particulier du dioxyde de carbone, mais aussi, à un moindre degré, par des phénomènes liés à des variations de l'énergie solaire arrivant à différents endroits de la surface de la terre, principalement dus à des variations de la couverture nuageuse. Il y a actuellement un intérêt croissant de la part des climatologues européens pour comprendre comment la variabilité solaire peut modifier la couverture nuageuse, directement ou par un effet catalytique, l'activité solaire influençant le champ magnétique terrestre, et donc modifiant le taux d'entrée dans l'atmosphère des rayons cosmiques, qui serviraient de noyaux de condensation, déterminant de ce fait la formation de nuages.

C'est Arrhénius qui le premier a fait remarquer en 1860 que le rythme de production du dioxyde de carbone par l'homme devenait comparable à celui des phénomènes

naturels et pouvait avoir un effet significatif sur le climat terrestre. On pense actuellement que la température moyenne de la Terre va s'accroître de deux à trois degrés au cours des cent prochaines années à cause du dioxyde de carbone. Cela conduira à une augmentation de température de l'ordre de six degrés au-dessus des continents.

Le calcul précis de ces effets a nécessité le développement de modèles numériques utilisant des théories scientifiques nouvelles, des ordinateurs puissants et des techniques expérimentales complexes. Ces modèles montrent d'autres conséquences du changement climatique, en particulier une hausse du niveau moyen de la mer d'environ 50 centimètres au cours des cent prochaines années. Un changement dans la circulation des courants océaniques qui apportent de l'eau chaude à l'Europe occidentale (la circulation thermohaline), qui s'est déjà produit dans le passé, risque de se produire dans les quatre cents prochaines années. La température du sud du Groenland a déjà baissé d'environ un degré en cinquante ans, bien que l'épaisseur de la banquise ait diminué en moyenne sur l'océan Arctique (un nouveau satellite européen, Cryosat, doit être lancé pour suivre ces évolutions).

Un changement de l'environnement tout aussi important que les problèmes climatiques a été lui aussi détecté aux pôles. Il s'agit de la diminution des quantités d'ozone stratosphérique causée par des émissions de gaz chlorés par l'homme. La conséquence en est un accroissement des rayonnements ultraviolets et de leurs effets négatifs sur la santé humaine. Bien que les gouvernements nationaux aient pris des mesures de réduction des émissions de gaz chlorés, les modèles suggèrent que l'état antérieur de la stratosphère ne sera pas restauré avant cent ans environ.

L'AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE : CONCILIER LA PROTECTION DE L'EAU ET LE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE

Les Agences de l'Eau sont des établissements publics de l'Etat. Elles contribuent à la protection des ressources en eau et à la lutte contre les pollutions en finançant des ouvrages grâce à des recettes perçues en fonction de la pollution rejetée par chaque usager de l'eau selon le principe "pollueur-payeur".

Une gestion intégrée à l'échelle du bassin versant

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie couvre le bassin de la Seine et des cours d'eau normands, soit 100 000 km² (1/5 du territoire national) où résident 17 millions d'habitants et où se concentre 40 % de l'activité industrielle nationale. Un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux a fixé de façon intégrée les orientations à moyen et long termes de la politique de l'eau.

Un modèle français de gouvernance participative

L'application du principe pollueur-payeur et les incitations financières à la dépollution viennent accompagner l'action réglementaire de l'Etat. Les redevances et les programmes quinquennaux d'action de l'Agence de l'Eau sont définis par un processus participatif au sein du comité de Bassin, parfois nommé "Parlement de l'Eau" où sont représentés l'Etat, les collectivités locales et toutes les catégories d'usagers de l'eau. Ces dispositions originales à l'œuvre depuis 35 ans ont fait de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie une pionnière de la "gouvernance participative" que beaucoup découvrent aujourd'hui.

51, rue Salvador-Allende - 92027 NANTERRE CEDEX
© 01 41 20 16 00 - Fax 01 41 20 16 09 - <http://www.aesn.fr>



La ville de Poitiers Capitale régionale et la Communauté d'Agglomération de Poitiers (10 communes, 128 000 habitants) recrutent par voies statutaires :

Un Directeur du Développement Urbain (Cadre d'emploi : administrateur territorial et ingénieur en chef 1^{re} catégorie)

sous l'autorité directe du Directeur Général des Services, Collaborateur direct des élus, Membre du Comité de direction.

Missions :

- Vous serez force de propositions auprès des élus pour définir la stratégie de développement de la Ville de Poitiers et de la Communauté d'Agglomération.
- Vous mettrez en œuvre la politique municipale et communautaire dans le domaine de l'urbanisme, de l'habitat, de l'économie, de la solidarité et de la gestion juridique du patrimoine.
- Vous animerez et encadrerez un service composé de 50 agents.

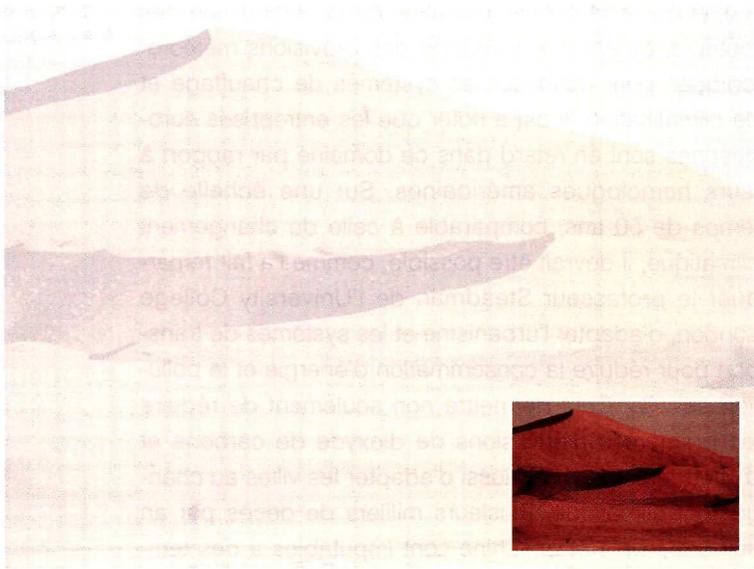
Profil :

- De formation supérieure, vous êtes un manager confirmé avec une expérience significative de la conduite de projets transversaux avec des partenaires publics et privés, ainsi que du montage et de la gestion financière de projets.
- Votre maîtrise de la négociation, votre connaissance de la gestion territoriale et des questions propres aux domaines de compétences du poste seront déterminantes.

Disponibilité.

Pour tous renseignements complémentaires, contacter Monsieur BERAUD, Directeur Général des Services,
Tél. 05 49 52 35 35

Les candidatures avec CV et dernier arrêté de nomination sont à adresser à Monsieur le Maire de la Ville de Poitiers
Hôtel de Ville, Place de Maréchal-Leclerc, 86021 Poitiers Cedex, jusqu'au 5 mai 2001.



La modélisation du climat

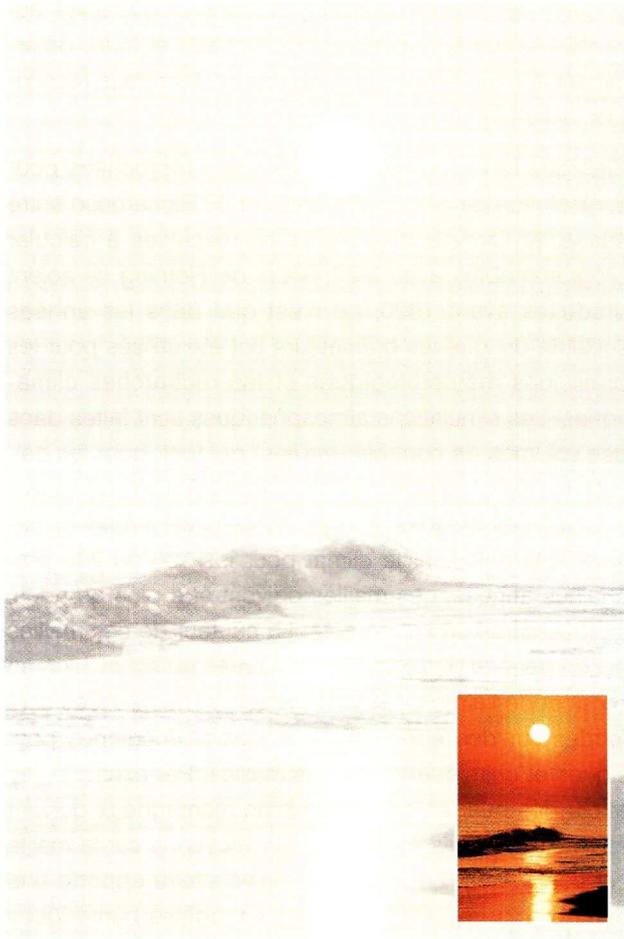
Certains aspects du climat peuvent être compris par des arguments qualitatifs, comme la présence de cellules de convection entre la zone équatoriale et les latitudes moyennes (circulation de Hadley) ou des calculs sur les grandeurs moyennes, comme la prédiction de l'effet de serre par Arrhénius. De tels modèles sont appelés en anglais "box models". Ces modèles ont des capacités prédictives limitées, et les scientifiques ont su persuader les gouvernements qu'il est nécessaire de recourir à des grands modèles "réductionnistes" fondés sur le calcul des processus se produisant dans des petits volumes élémentaires de l'atmosphère et des océans. Ces modèles sont construits à partir des équations dynamiques de Navier-Stokes (mécanique des fluides) et des théories thermodynamiques et de radiation de Carnot, Kelvin, Stefan, entre autres. Jusqu'à l'apparition des ordinateurs, l'analyse mathématique de ces équations ne pouvait prendre en compte que des phénomènes locaux, comme des ondulations de l'atmo-

sphère, les vagues dans les océans et quelques aspects des fronts qui séparent air chaud et froid, déterminent les zones de précipitations et dont nous ressentons les effets dans le temps qu'il fait.

Bien que la découverte de méthodes approchées pour la résolution de ces équations par L.F. Richardson entre autres, et l'arrivée des premières machines à calculer programmables avec les travaux de Fleming se soient produites avant 1920, ce n'est que dans les années soixante-dix que les ordinateurs ont été utilisés pour les prévisions météorologiques et les recherches climatiques. Les simulations atmosphériques sont faites dans des volumes de contrôle (mailles) qui font, pour les calculs météorologiques, de l'ordre de 50 km de côté ; pour les très longues simulations de changement climatique, qui calculent le climat pour les 100 ou 200 prochaines années, ces mailles doivent être plus grandes, typiquement 200 km de côté. La hauteur de ces mailles est en général de l'ordre de 10 m près du sol et 1 km au sommet de l'atmosphère. Les modèles numériques sont fondés sur des approximations des phénomènes physiques et chimiques dans ces mailles. Par exemple, les effets des nuages ou des massifs montagneux doivent être calculés puis seulement leur moyenne sur la maille est considérée. La recherche universitaire apporte une contribution importante aux gros modèles numériques développés par le British Meteorological Office et ses équivalents dans les autres pays, de même que la collaboration poussée entre les services météorologiques nationaux. Par exemple, un travail récent qui a impliqué le British Meteorological Office, Météo France et le service météorologique national d'Islande a montré comment les écoulements turbulents au-dessus des collines produisent une force de frottement significative sur les mouvements atmosphériques, mais ont peu d'influence sur les transferts de chaleur et de masse. Ce même travail a montré que les effets de montagnes de l'échelle des Alpes ou des Pyrénées étaient sous-estimés d'un facteur cinq dans les modèles habituels, car ces modèles ne prennent pas en compte la rotation de la terre sur cette petite échelle de longueur.

Pour appliquer ces modèles aux prévisions météorologiques, il est indispensable d'utiliser toutes les données recueillies par satellite et par avion. Pour cela, les techniques de la théorie mathématique du contrôle optimal sont appliquées, notamment à Météo France. En revanche, pour les études climatiques sur les quelques prochaines centaines d'années, la donnée des conditions initiales du calcul est beaucoup moins importante que l'exactitude de la représentation de la physique dans le modèle.

Y a-t-il des signes montrant que les modèles gagnent en précision ? En 1990, la marge d'erreur de la prévision à un jour de la trajectoire des cyclones tropicaux était de



l'ordre de 220 km. Aujourd'hui, elle est de l'ordre de 130 km. Les modèles climatiques, de leur côté, peuvent reproduire les valeurs moyennes et les fluctuations de la température moyenne planétaire sur les 150 dernières années à une précision de 0,2 degré. Les erreurs dans le calcul des fluctuations ont été réduites de 50 % depuis 1995.

Des choix pour l'avenir

Si donc il est possible de prévoir avec une précision croissante les changements du climat et de l'environnement local, alors on peut aussi utiliser les connaissances scientifiques pour permettre aux Etats et aux entreprises d'atténuer les causes de ces changements, mais aussi de s'adapter à leurs conséquences les plus graves. Il y a un intérêt accru au Royaume-Uni pour les problèmes scientifiques et pratiques d'atténuation et d'adaptation. La plupart des gouvernements, dont le gouvernement britannique, cependant, n'ont pas encore pris de décision politique en faveur de campagnes nationales d'adaptation au changement climatique. Ils redoutent en effet que ces campagnes ne réduisent l'attention que le public porte aux programmes d'atténuation.

Un exemple de recherche scientifique et technologique nécessaire pour la diminution de la production des gaz

à effet de serre est l'amélioration de la combustion des moteurs, ou encore l'utilisation des prévisions météorologiques pour optimiser les systèmes de chauffage et de climatisation. Il est à noter que les entreprises européennes sont en retard dans ce domaine par rapport à leurs homologues américaines. Sur une échelle de temps de 50 ans, comparable à celle du changement climatique, il devrait être possible, comme l'a fait remarquer le professeur Steadman de l'University College London, d'adapter l'urbanisme et les systèmes de transport pour réduire la consommation d'énergie et la pollution en ville. Cela permettra non seulement de réduire les problèmes d'émissions de dioxyde de carbone et d'effet de serre, mais aussi d'adapter les villes au changement climatique. Plusieurs milliers de décès par an aux Etats-Unis et en Chine sont imputables à des températures excessives en ville, liées à l'îlot de chaleur urbain, dans lequel la température peut être de 10 degrés supérieure à celles des campagnes environnantes. Ces problèmes seront aggravés bien sûr par le réchauffement terrestre. L'urbanisme est un facteur crucial pour ce problème. Par exemple, dans des villes comme New Delhi, ou Phoenix (Arizona), dans lesquelles se trouvent des zones bien irriguées qui refroidissent l'air par évaporation, la température est de un degré inférieure à celle des campagnes environnantes.

Le plus grand défi d'adaptation posé par le réchauffement planétaire pour les pays de faible altitude (comme les Maldives ou certaines zones côtières européennes) est celui de la hausse du niveau de la mer, estimée à 50 cm sur le prochain siècle. Comprendre comment cela se produira et prendre les bonnes décisions nécessitent un travail important, par exemple sur les vagues et les courants de ces régions côtières, mais aussi sur la géologie et le biotope de ces régions quand elles seront inondées. La mesure à distance par satellite va prendre une place croissante dans le suivi détaillé de tels événements, mais aussi pour la pollution urbaine et les mouvements de sédiments côtiers.

Je crois qu'il y a un devoir pour les scientifiques et les ingénieurs de fournir des outils informatiques rapides et conviviaux (pour ordinateurs de bureau) qui synthétisent le savoir scientifique, pour permettre aux collectivités locales, aux gouvernements et aux entreprises d'interpréter des données, d'examiner les prédictions des modèles et d'explorer les options d'aménagement envisageables. Ces groupes pourront alors prendre des décisions pour s'adapter de façon optimale à un environnement changeant assez rapidement. Ce sera l'un des principaux objectifs du nouveau Centre for Applications of Climate Change research créé récemment par l'Université de Reading, University College London et Imperial College. ●

Les défis scientifiques de la pollution urbaine

François CATON

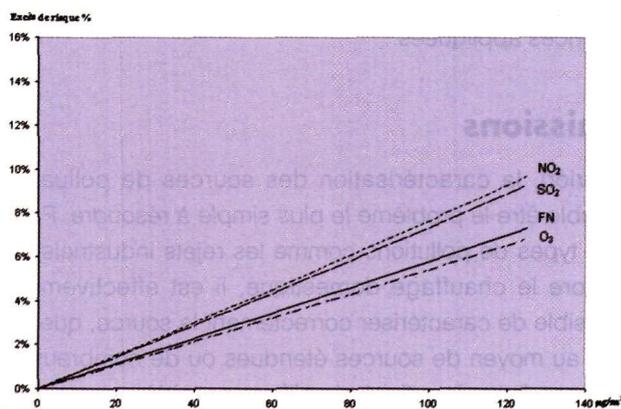
Il est actuellement chargé de recherche CNRS au laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée de Nancy. Il a effectué un séjour à Cambridge au département de Mathématiques Appliquées et Physique Théorique sur le thème de l'effet des bâtiments sur la dispersion des polluants en sites urbains, ceci en collaboration avec le département de chimie de l'université de Bristol et d'architecture de Cambridge, ainsi qu'avec Cambridge Environmental Research.

Introduction

La pollution en ville est un phénomène tellement courant qu'elle est devenue un sujet de conversation presque aussi fréquent que le temps qu'il peut faire ou l'influence du réchauffement planétaire sur l'orage de la semaine dernière. Derrière cette prise de conscience du public et des médias, il existe une réalité plus ou moins claire de ce qu'est la pollution urbaine, d'où elle vient, quels sont ses effets et son coût. Loin d'être un problème mineur ou ponctuel, la pollution devient un mal de plus en plus quotidien. En effet, la pollution urbaine peut se décomposer en deux grandes classes d'événements : les uns habituels comme les émissions automobiles, industrielles ou domestiques quotidiennes, les autres correspondants à des situations exceptionnelles comme des accidents industriels ou encore des attentats (par exemple l'attentat au gaz sarin à Tokyo). Si nous allons parler dans cet article essentiellement de la pollution "habituelle" et en particulier automobile, il faut noter que ces conditions accidentelles sont celles qui bénéficient du plus de moyens de recherche puisque financées soit par les militaires comme aux Etats-Unis ou en Israël, soit par les industriels. Ces derniers doivent en effet garantir légalement qu'en cas d'accident dans leur installation, la concentration en gaz nocifs ne dépassera pas une valeur fixée par le législateur.

Effets de la pollution sur la santé

Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études épidémiologiques, menées pour la plupart aux Etats-Unis, ont conclu à l'existence d'une association à court terme entre les variations journalières de pollution atmosphérique et la mortalité. Depuis les épisodes de pollution survenus au cours des années 1950-60, très peu d'études avaient été menées en Europe. L'étude ERPURS (Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine pour la Santé 1997) a constitué l'une des 2 composantes françaises du projet APHEA (Air Pollution and Health : a European Approach) qui visait à quantifier les risques sanitaires de la pollution atmosphérique en milieu urbain. Dans toutes les villes étudiées, des excès de risque de mortalité et de morbidité cardio-respiratoires ont été mis en évidence pour des niveaux de pollution inférieurs aux seuils définis dans les Directives Européennes. Ainsi, par exemple, pour une augmentation un jour donné de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de particules, l'augmentation de mortalité totale le jour suivant est de l'ordre de 3 % (dans les villes européennes de l'ouest). Ceci montre que, outre les fameux pics de pollution, la pollution quotidienne, même à relativement faible niveau



Courbes exposition-risque de mortalité totale (1990-1995). Abscisse : concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ordonnée : excès de risque 0-16 %.

de concentration a un effet nocif sur la santé. On peut noter par ailleurs que cette même étude et d'autres études médicales récentes remettent en cause la notion même de seuil minimal de nocivité (cf. ci-dessous).

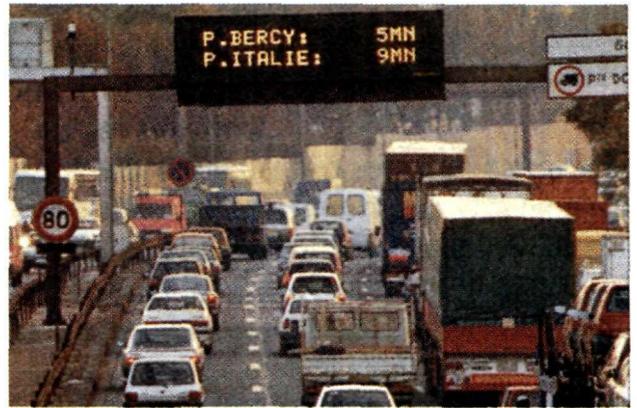
Il est donc clair que non seulement les événements rares comme les pics de pollutions sont dommageables à la santé publique, mais également les niveaux courants. Face à cette absence d'un seuil d'exposition sans risque, l'idéal d'une protection totale de la population devient irréaliste. Il convient plutôt d'essayer de quantifier au mieux les risques et les coûts. En fait, sans estimation des coûts et des bénéfices, on ne disposerait pas de critère pour répondre aux questions "jusqu'où faut-il aller dans la lutte contre la pollution ?" et "quels sont les moyens à utiliser ?" Ces estimations sont particulièrement délicates à faire, mais un rapport du Haut Comité de la Santé Publique (18 juillet 2000) donne une fourchette allant de 160 F/pers./an à 1 700 F/pers./an, ce qui donne un coût annuel compris entre 8 et 85 GF/an. La réduction de la pollution présente donc un intérêt pour la qualité de vie, mais également économique. La solution du problème n'étant pas de fermer les usines, d'interdire les voitures ou d'arrêter de se chauffer, il est nécessaire de modéliser la dispersion et les transformations des polluants dans la ville afin de conseiller les décideurs, que ce soit en termes de réglementation des émissions, dans le cas de projets d'urbanisme ou encore d'implantation de sites industriels.

Prévoir la pollution : un problème multidisciplinaire

La prévision de la concentration d'un polluant particulier, en un endroit donné d'une ville, à un moment précis est d'une extrême complexité. En effet, la variation au cours du temps d'un polluant met en jeu les émissions, le vent local (advection), l'ensoleillement, la géométrie des bâtiments, etc., ainsi que les diverses réactions chimiques que le polluant subit. Chacun de ces phénomènes pris séparément est déjà d'une grande complexité et leur résolution est l'un des défis majeurs en sciences appliquées.

Emissions

A priori, la caractérisation des sources de polluants semble être le problème le plus simple à résoudre. Pour des types de pollutions comme les rejets industriels ou encore le chauffage domestique, il est effectivement possible de caractériser correctement la source, que ce soit au moyen de sources étendues ou de nombreuses sources fixes, leur fixité simplifiant considérablement le problème. Par contre, pour le pollueur citoyen principal qu'est le trafic automobile, le problème est beaucoup plus compliqué du fait du caractère mobile de ces



Boulevard périphérique.

sources. En effet, si on ne considère qu'un seul véhicule par exemple, ses émissions vont dépendre de sa marque, de son âge, de son état d'entretien, de sa vitesse et de son accélération...

Bien sûr, pour pouvoir évaluer correctement les émissions dans une certaine zone urbaine, il faut ensuite connaître le nombre de véhicules présents et quels en sont les flux entrants et sortants. Tout ceci fait l'objet d'un domaine de recherche très actif, l'objectif premier étant, pour une configuration urbaine donnée, de prédire la "concentration en véhicules" ainsi que ses flux, mais également la distribution des vitesses des véhicules.

Effets hydrodynamiques

La connaissance du champ des vitesses sur une surface urbaine est particulièrement difficile pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il est nécessaire de connaître avec précision l'écoulement incident arrivant sur la ville. Des prévisions météorologiques fiables sur des échelles spatiales inférieures au km et temporelles inférieures à l'heure doivent donc être disponibles. Cet écoulement interagit ensuite avec la surface urbaine, cette dernière étant un assemblage plus ou moins aléatoire de bâtiments. Imaginons qu'on ait besoin pour calculer cet écoulement de décrire complètement la géométrie d'une petite ville comprenant un millier de bâtiments. Nous avons donc besoin de la largeur, longueur, hauteur de chacun des bâtiments ainsi que de leur position géographique. D'autre part, l'écoulement entre chacun de ces bâtiments va être fortement influencé par l'écoulement amont, ainsi que par le type de peinture et de matériaux de construction (effets thermiques). On parvient ainsi à une situation parfaitement inextricable. Pour résoudre ce problème deux approches principales sont utilisées, l'une basée sur les simulations numériques, l'autre sur la modélisation des processus physiques. La méthode numérique, si elle peut sembler prometteuse du fait de la puissance croissante des ordinateurs, n'en

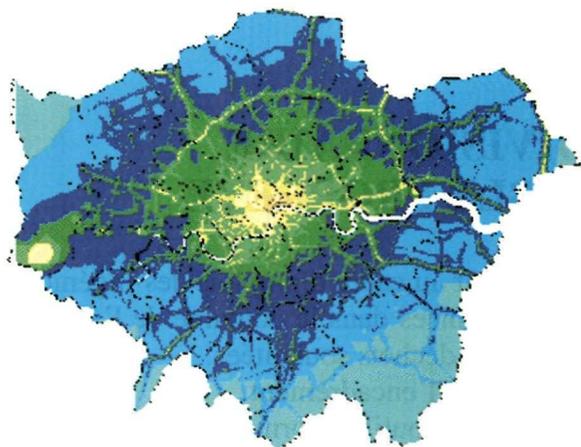


Image haute résolution de la pollution de l'air à Londres (logiciel ADMS-Urban).

est qu'au stade de développement. Le principe en est de coupler des simulations numériques à différentes échelles (4 à l'heure actuelle) afin d'obtenir le champ de concentration (projet Urbcap par exemple). Cette méthode n'a pour l'instant pas prouvé son potentiel opérationnel. D'un autre côté, les méthodes basées sur la compréhension des processus dirigeant la dispersion des polluants a permis de développer des modèles qui sont opérationnels et commercialisés (ADMS par exemple). Ces modèles sont l'objet de campagnes de validation extensives et de contraintes de qualité pour les prédictions par les organismes gouvernementaux désirant les utiliser, que ce soit la Communauté Européenne ou l'agence de Protection de l'Environnement Américaine. A l'heure actuelle, de nombreux travaux concernent toujours le côté purement hydrodynamique de la dispersion de polluants, les études allant de l'influence de la turbulence induite par un véhicule en mouvement à la persistance de l'influence d'un groupe de bâtiments sur le mélange.

Réactions chimiques

Du point de vue de la chimie, le problème est tout aussi complexe. En effet la plupart des polluants réagissent entre eux, les réactions étant photochimiques. De plus les éléments polluants peuvent être gazeux, mais peu-

vent également être solides comme les fameuses particules ultrafines de taille de l'ordre de la centaine d'Angström. D'autre part, il semble de plus en plus clair que des composés en quantités très faibles comme les composés organiques volatils jouent un rôle prépondérant dans l'équilibre de ces réactions. Pour rendre le problème encore plus complexe, ces réactions ont des temps caractéristiques allant de quelques secondes à quelques heures, induisant un couplage complet entre le problème chimique et le problème hydrodynamique. Par exemple, il est nécessaire de connaître la distribution de probabilité du temps de séjour des espèces dans le réacteur (e.g. la rue) pour pouvoir – si on connaît bien la réaction – en déduire une estimation de la concentration des espèces au cours du temps. Ce problème du couplage hydrodynamique et chimie est problème crucial qui est – à mon avis – sous-estimé.

Conclusions

En conclusion, et pour donner un peu d'optimisme après avoir abordé les problèmes en cours d'étude, nous pouvons remarquer que le thème général de la protection de l'environnement est devenu un pôle de recherche majeur, que ce soit pour la pollution de l'air ou de l'eau ou encore le réchauffement planétaire. En ce qui concerne la pollution atmosphérique, les modèles opérationnels, de par la qualité des équipes les mettant au point, mais également par les investissements financiers lourds qui les supportent, sont de plus en plus performants. Ils jouent un rôle grandissant dans le conseil aux décideurs et sont devenus nécessaires pour la conception de projets d'urbanisme ou l'implantation de sites industriels.

Quelques adresses (Web) intéressantes :

Santé :

<http://www.invs.sante.fr/publications/>

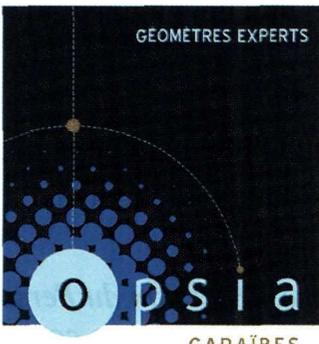
Réseau Européen de Recherche sur la pollution urbaine :

<http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/trapos/main.htm>

Groupement De Recherche Atmosphère Urbaine :

<http://terac712.hmg.inpg.fr/>





Topographie - Implantation - Travaux de Précision
Cartographie Numérique - Photographie Aérienne
Photogrammétrie - Bathymétrie - GPS - Foncier

Immeuble Jarry Autokit – Rue H.-Becquerel – ZI JARRY
97122 BAIE-MAHAULT – GUADELOUPE (FWI)
Tél. 0590 26 84 19 – Fax 0590 26 86 80 – Mail : opsia-caraibes@wanadoo.fr



La Ville d'Orléans, 113 000 habitants, capitale régionale, recrute dans le cadre statutaire pour sa direction de l'eau et de la propreté,

UN INGENIEUR SUBDIVISIONNAIRE ADJOINT AU RESPONSABLE PROPLETE

Activités :

- Réalisation d'études techniques liées à la collecte.
- Rédaction et suivi des appels d'offres.
- Organisation et suivi des circuits de collecte en vue d'une rationalisation - Mise en place de tableaux de bord.
- Soutien technique aux agents/animation de réunions/mise en place de formation "sécurité".
- Assurer la veille juridique et technique du service.
- Développement de l'utilisation d'outils informatiques, du SIG.

Profil :

- Appartenir au cadre d'emplois des Ingénieurs.
- Connaissances dans le domaine de l'environnement et des déchets souhaitées.
- Aptitudes à l'encadrement.
- Maîtrise des outils informatiques.

Renseignements complémentaires auprès d'Odile Thireau au 02 38 56 97 55.

UN INGENIEUR SUBDIVISIONNAIRE BUREAU D'ETUDES DU SERVICE ASSAINISSEMENT

Activités :

- Réalisation d'études techniques sur les schémas directeurs d'assainissement, d'études d'épuration et de mise aux normes des stations.
- Maîtrise d'œuvre : réalisation des pièces techniques et administratives, passation des marchés et suivi des travaux.
- Encadrement de l'équipe du bureau d'études.
- Veille juridique.
- Information du service.

Profil :

- Formation supérieure en génie civil.
- Connaissances en hydraulique et automatisme.
- Expérience de la gestion administrative et financière.
- Maîtrise des outils informatiques.
- Connaissances des marchés publics appréciées.

Renseignements complémentaires auprès d'Etienne Ethoré au 02 38 79 25 25

UN INGENIEUR

Activités :

- Sous la responsabilité du Directeur de Service et en liaison avec le paysagiste en charge des projets, l'ingénieur assurera la conduite de l'entretien raisonné du patrimoine végétal, des structures l'accompagnant et des équipements sportifs de plein air. Il aura plus particulièrement en charge :
- D'établir et de coordonner les missions des techniciens.
- De superviser la mise en œuvre de l'inventaire qualitatif et quantitatif du patrimoine végétal dans le cadre du SIG d'Orléans.

- De mettre en œuvre le guide d'entretien du patrimoine et l'évaluer qualitativement et quantitativement (comptabilité analytique) en coordination avec le concepteur, en concertation avec les usagers.
- D'élaborer les pièces techniques des marchés publics (fournitures, matériels).

Profil :

- Diplômé de l'ENSH-ENSHAP d'Angers, créativité et aptitude à la conduite d'équipes et de projets.

Les candidatures (CV + lettre + photo) sont à transmettre à M. Le Maire, Direction du Personnel, Place de l'Etape, 45040 Orléans Cedex 1 avant le 4 mai 2001. Renseignements complémentaires auprès de M. FLEURY, Ingénieur en Chef au 02 38 79 22 96.

O zone des villes, zone des champs qualité de l'air et pollution photochimique

L'ozone se joue des frontières et touche aussi les campagnes
(Le Monde, titre de la page Aujourd'hui, 21 août 1997).

L'ozone des champs envahit les villes
(Le Monde, titre de la page Aujourd'hui, 9 septembre 1998).

Bruno SPORTISSE

IPC 94, Docteur
en Mathématiques Appliquées

Actuellement responsable du Pôle Air du CERVE (Centre de Recherche en Eau-Ville-Environnement de l'ENPC) et chargé de mission à la DRAST (Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques du METL) sur les thématiques Qualité de l'Air et Effet de Serre.

Introduction

Sous le terme générique de *pollution atmosphérique*, on rassemble souvent de manière confuse des phénomènes de nature très différente : effet de serre, destruction de la couche d'ozone stratosphérique, pollution transfrontière et qualité de l'air à proprement parler. Face à tous ces types de "pollutions", l'opinion publique a une sensibilité très forte par rapport à la Qualité de l'Air avec une focalisation sur la pollution photochimique (l'ozone). L'objet de cet article est de tenter de faire un point sur cette problématique. Quel est le contexte réglementaire ? Où en est-on sur un plan scientifique ? Quelles sont les perspectives dans le futur immédiat ? Ces trois questions structurent cet article.

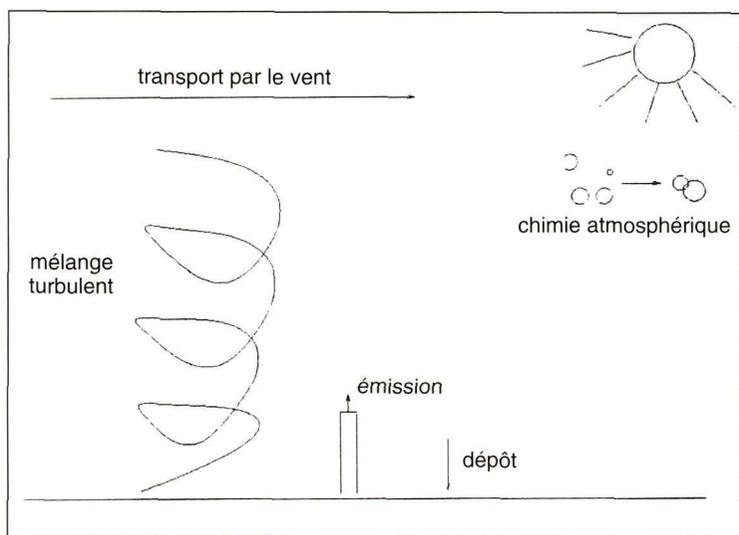
Un petit rappel historique

La pollution atmosphérique d'origine anthropique et ses effets sont décrits par des textes dès l'Antiquité. Plus proche de nous, la pollution soufrée est une constante de Londres dès la révolution préindustrielle : on parle alors de "sulfurous smog" (smog étant la contraction de smoke et de fog). Tout un cadre législatif se met donc



progressivement en place en Grande-Bretagne : Public Health Act en 1848 pour la réglementation des émissions des cheminées (dont les locomotives), Alkali Act en 1863 pour l'industrie du savon. Un des épisodes les plus dramatiques se solde par plusieurs milliers de morts à Londres (4 000 ?) en 1952. L'année suivante, le Clean Air Act est voté en Grande-Bretagne afin de réglementer les "pollutions atmosphériques", d'origine industrielle dans le contexte et essentiellement localisées. Dès les années 30 et 40, le bassin de Los Angeles est confronté à un type de pollution de nature radicalement différente, liée en particulier à des conditions météorologiques spécifiques et à un fort essor de la circulation automobile, les ingrédients étant plutôt les oxydes d'azote, l'ozone et un fort ensoleillement. On parle alors de "photochemical Los Angeles smog¹" et les premiers

¹ Quelque peu à tort puisque les conditions météorologiques sont loin de caractériser un brouillard !

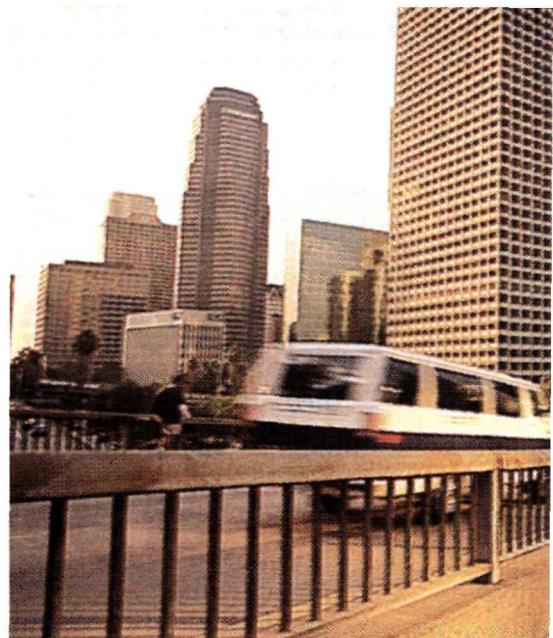


Des mécanismes complexes

articles scientifiques décrivent les mécanismes de transformation des oxydes d'azote en ozone au début des années 50. Une autorité en charge de la pollution atmosphérique est créée en 1947 (Air Pollution Control District).

C'est la première apparition de la pollution photochimique, dont l'importance ira croissante avec notamment le développement industriel et l'essor de l'automobile. Le débat autour des pluies acides dans les années 70 et 80 (pollution transfrontière) puis l'émergence d'enjeux à l'échelle globale dans la même période (trou d'ozone

et effet de serre additionnel) ont pour une part occulté ce type de pollution. Le développement urbain et les problèmes de mobilité associés ont ramené dans les années 80 et 90 de manière particulièrement forte la pollution



photochimique sur le devant de la scène. Cette prise de conscience de l'enjeu de la Qualité de l'Air s'est traduite sur le plan législatif par l'adoption de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (LAURE) le 30 décembre 1996, le contexte européen ayant lui-même largement évolué dans les années précédentes avec l'adoption de plusieurs directives relatives à la Qualité de l'Air et à l'Ozone.

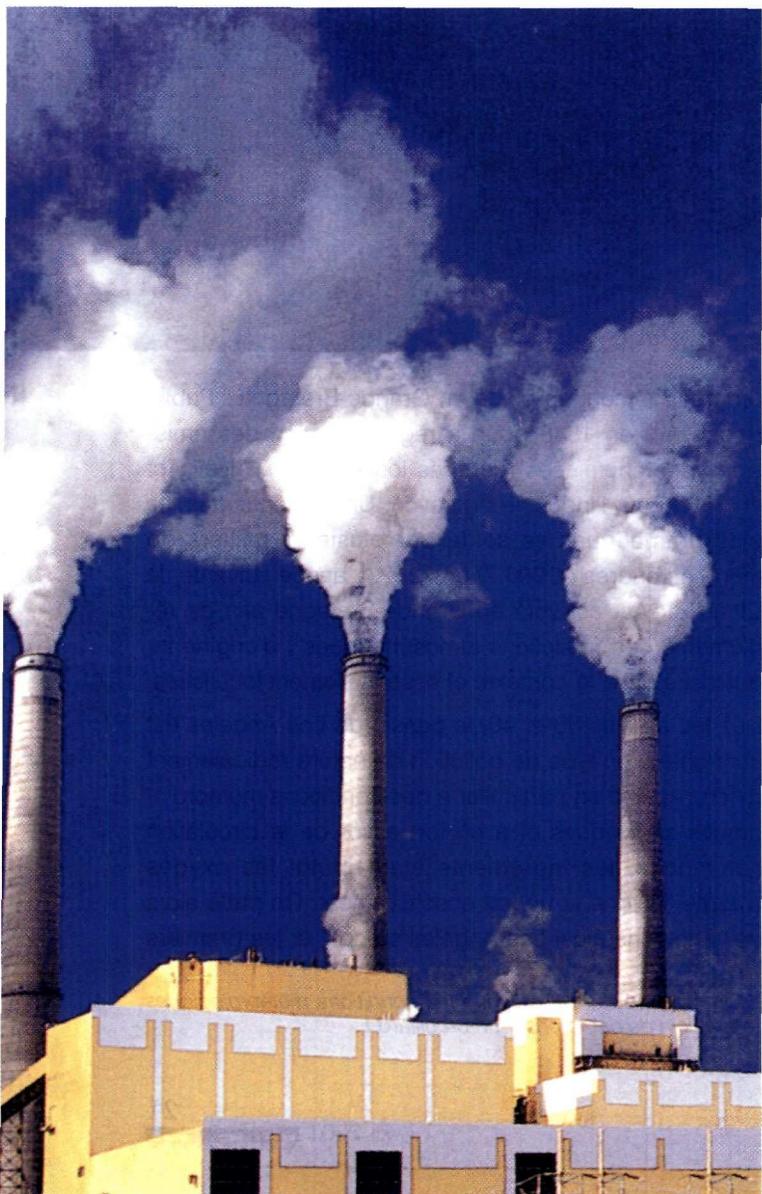
Un cadre législatif et réglementaire sévère

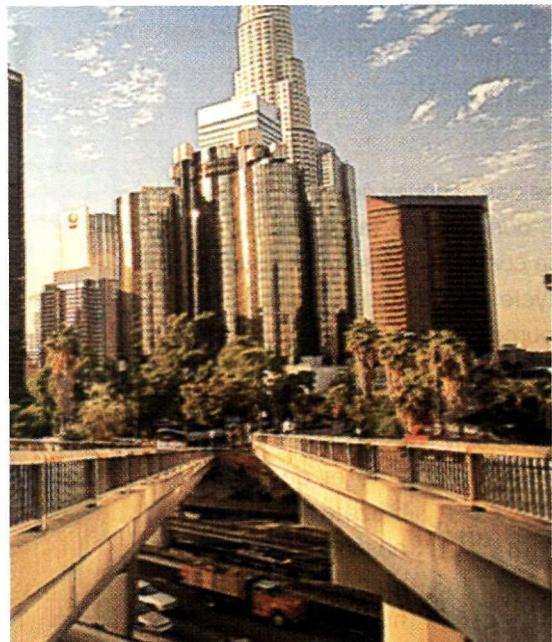
La qualité de l'air est réglementée au niveau communautaire depuis le début des années 80 avec l'adoption des directives sur le dioxyde de soufre et les poussières (15 juillet 1980), le dioxyde d'azote (7 mai 1985) et l'ozone (30 octobre 1992). La directive cadre du 27 septembre 1996 sur la Qualité de l'Air concerne plus spécifiquement l'évaluation et la surveillance de la qualité de l'air en prescrivant des valeurs décrivant de manière uniforme la pollution au sein de l'Union Européenne, en mettant l'accent sur la nécessité d'informer la population et en fixant des objectifs à atteindre.

Treize polluants sont ainsi suivis : ozone, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, particules fines, particules en suspension, plomb, benzène, monoxyde de carbone, HAP (hydrocarbures polycycliques aromatiques), cadmium, arsenic, nickel, mercure.

Les directives filles ont été adoptées dans les années suivantes pour le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, le plomb et les particules, le benzène et le monoxyde de carbone, et l'ozone.

A la suite de la Directive Qualité de l'Air, la loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie a été adoptée en France le 30 décembre 1996, les premiers textes d'importance remontant à la loi du 2 août 1961 relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs et à son décret d'application du 13 mai 1974. La LAURE et ses décrets d'application fixent des objectifs de qualité de l'air, des moyens d'atteindre ces objectifs et des dispositions de surveillance (Associations de Surveil-





lance de la Qualité de l'Air). Un important volet concerne la définition (ou la redéfinition) d'outils de planification, élaborés aux niveaux adéquats et soumis à évaluation périodique :

– les Plans Régionaux de Qualité de l'Air (PRQA), dont l'objectif est d'évaluer la qualité de l'air dans une région (ce qui entraîne la réalisation d'un inventaire des émissions), d'estimer son évolution prévisible et de fixer des orientations en fonction d'objectifs,

– les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) qui visent à ramener des concentrations à un niveau inférieur aux valeurs limites définies par la Loi et qui doivent être compatibles avec un PRQA lorsque celui-ci existe,

– les Plans de Déplacement Urbains (PDU) qui existaient avant la LAURE (ils sont déjà définis dans la LOTI du 30 décembre 1982) mais dont le rôle est renforcé, notamment en fixant parmi les orientations la diminution du trafic automobile et le développement des transports et des moyens de déplacement les moins polluants (dont le covoiturage).

A côté de ces outils de planification, la LAURE fixe d'autres dispositions, notamment :

- la création de la pastille verte pour faciliter les conditions de circulation des véhicules les moins polluants,
- les mesures d'urgence avec le dispositif de restriction et le cas échéant de suspension des activités polluantes (y compris la circulation) lorsque les seuils d'alerte sont dépassés ou sur le point de l'être,
- le volet Air des études d'impact d'aménagement avec l'ajout d'un volet sanitaire.

Des mécanismes complexes en jeu

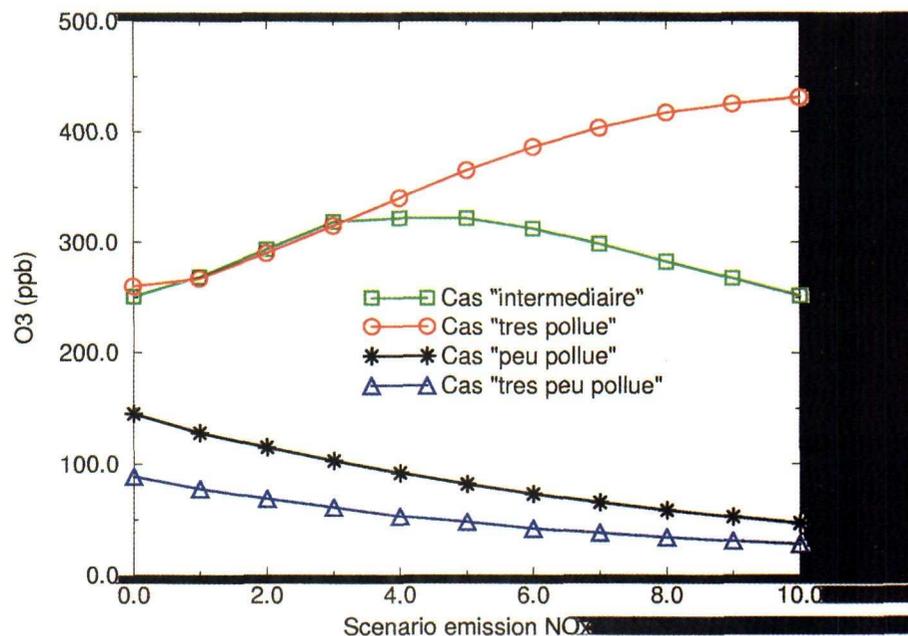
Parallèlement² à cet effort réglementaire, un important effort de recherche soutenu de manière incitative par des fonds publics (lancement du programme de recherche interministériel PRIMEQUAL, au sein du PREDIT, en 1996) a permis de faire avancer considérablement notre compréhension des phénomènes en jeu. Alors que l'accent en 1995-1996 était mis sur les épisodes aigus ("pic" de pollution), dans une approche qui relevait peu ou prou de la logique de l'accident industriel (localisé en espace et en temps, focalisation sur des valeurs seuils), la connaissance scientifique a beaucoup évolué en quelques années.

Les questions auxquelles les scientifiques et les ingénieurs sont amenés à répondre sont typiquement les suivantes :

- Comment se développe un épisode de pollution photochimique ? Quelle est la part des phénomènes météorologiques (vent faible, ensoleillement, faible turbulence donc pas de dispersion) et chimiques (émissions des polluants et transformation en polluants secondaires) ?
- Est-on capable de prédire des épisodes de pollution un ou deux jours à l'avance, notamment pour anticiper des épisodes de pointe et les mesures qui en découlent ?
- Quel est l'impact des politiques de transport et de l'évolution de la qualité des carburants ? Quelle est la part de chacune des branches économiques polluantes (industrie, chauffage urbain, transports) ?

Il est utile de dresser ici un rapide tableau des phénomènes en jeu :

- des polluants *primaires* sont émis, pour partie d'origine anthropique (résidus de la combustion fossile), pour partie d'origine biogénique (l'activité photosynthétique),
- lorsque les conditions météorologiques le permettent, ces polluants, essentiellement émis au voisinage du sol, sont diffusés verticalement par la turbulence atmosphérique. Plus la turbulence est forte, plus la hauteur de



Simulation numérique de la dépendance de l'ozone aux émissions d'oxydes d'azote (calculs personnels sur un modèle de boîte).

² Et pas nécessairement en amont... On reviendra sur ce point par la suite.

la couche dans laquelle cette diffusion a lieu (*la couche de mélange*) est élevée, ce qui conduit bien entendu à une dilution des composés et à une plus faible concentration. Cette hauteur de mélange varie donc en fonction de l'intensité de la turbulence atmosphérique et donc au cours de la journée. La turbulence est essentiellement pilotée par les gradients de température verticaux : selon le principe de la montgolfière, l'air chaud, plus léger, est ascendant. Autrement dit : si la température est décroissante verticalement (en première approximation), la turbulence peut se développer et les niveaux de concentration ne sont pas trop élevés ; dans le cas contraire, on parle d'*inversion thermique* (typiquement la nuit), et la turbulence restant faible, des niveaux de concentration élevés peuvent être atteints dans les basses couches de l'atmosphère,



– un second élément est déterminant pour apprécier l'influence des conditions météorologiques : c'est bien sûr l'intensité du vent (en première approximation horizontal) qui permet de transporter des polluants émis loin de leur lieu d'émission.

A ces mécanismes d'origine dynamique se superposent toutes les transformations chimiques auxquelles participent les polluants primaires. Les produits de ces réac-

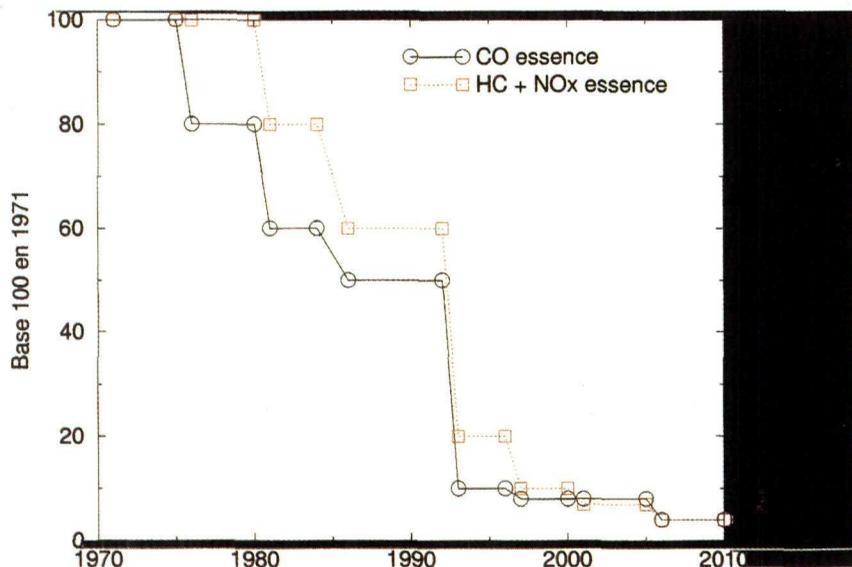
tions (qui ne sont pas des espèces émises) sont les polluants *secondaires*, dont l'ozone fait partie. Un cycle fondamental dans ce contexte est ce qui est parfois désigné comme le cycle de Chapman dans la troposphère. L'unique source d'ozone dans la troposphère est déterminée par les réactions chimiques suivantes : $\text{NO}_2 + \text{soleil} \rightarrow \text{No} + \text{O}$, $\text{No} + \text{NO}_3 \rightarrow \text{No}_2 + \text{O}_2$, $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$ où O_3 , NO_2 et No désignent les concentrations d'ozone, de dioxyde d'azote et de monoxyde d'azote. Ce cycle en absence de toute autre réaction est de bilan nul hors les aspects énergétiques mais permet de comprendre l'étroite relation entre oxydes d'azote, ensoleillement et ozone. En présence de composés organiques issus des résidus de combustion, que l'on notera Ro_2 , une autre voie d'oxydation du monoxyde d'azote est concurrente à l'oxyda-

tion par l'ozone (qui se traduisait par une destruction d'ozone) via : $\text{No} + \text{Ro}_2 \rightarrow \text{No}_2 + \text{Ro}$

Dans ce contexte, le cycle de Chapman est déséquilibré et la concentration d'ozone augmente puisque les réactions de consommation n'équilibrent plus les réactions de production. En réalité, de nombreuses autres espèces chimiques doivent être prises en compte et des dizaines, voire des centaines de réactions chimiques sont à considérer.

De plus, la non-linéarité de la chimie atmosphérique conduit à des dépendances particulièrement difficiles à appréhender. L'explication sommaire esquissée ci-dessus n'est valable que dans certains régimes chimiques de l'atmosphère et l'évolution de l'ozone en fonction des émissions d'oxydes d'azote dépend en fait du niveau des autres polluants : dans certains cas, l'ozone peut même décroître lorsque les émissions d'oxyde d'azote augmentent !

Comme les temps caractéristiques de ces réactions chimiques sont de l'ordre des temps de transport par le vent, on peut mieux comprendre pourquoi ces polluants secondaires apparaissent éventuellement loin des zones d'émission. Dans une situation de vent nord-est sud-ouest, au-dessus du Bassin parisien, les pointes d'ozone apparaissent ainsi fréquemment "sous le vent de Paris" (par exemple à Rambouillet).



Evolution de la réglementation des émissions pour les véhicules particuliers (essence).

Le développement d'outils de modélisation complexes à même de prendre en compte l'ensemble de ces phénomènes (émissions, transport, chimie) a été un des axes de recherche prioritaires de la communauté scientifique française ces dernières années. L'utilisation de tels outils à des fins de compréhension a permis de mieux cerner les raisons de la genèse d'un épisode de pollution photochimique. Un des points essentiels est l'importance du *transport régional (continental)* des masses d'air pollué : une partie significative (près de la moitié) des pics de pollution photochimiques sur Paris est ainsi directement relié à un transport continental à l'échelle européenne. Ceci relativise singulièrement l'efficacité à attendre des mesures de circulation alternée (gestion locale des pics) pour la diminution des concentrations en ozone (ce qui n'est pas le cas pour les oxydes d'azote). De même, les émissions biogéniques peuvent jouer un rôle non négligeable dans la production d'ozone³.

L'évolution de ces outils va donc vers de plus grandes échelles en espace (le continent). Parallèlement des campagnes de mesures ont ou vont être initiées afin d'une part de constituer des bases de données sur la pollution photochimique et d'autre part qualifier les modèles : ESQUIF pour la région Ile-de-France (1999-2001) et ESCOMPTE pour l'étang de Fos-Berre cette année.

Le point en 2001

Une surveillance renforcée

L'adoption de la LAURE a été accompagnée en France d'une montée en puissance des réseaux de surveillance : en 1999, 39 associations de surveillance étaient déjà en place avec un triplement des effectifs et des budgets depuis 1995. L'ensemble des agglomérations métropolitaines de plus de 100 000 habitants disposent à présent d'information de manière continue.

Une meilleure compréhension scientifique

Les efforts menés au sein de Primequal ont considérablement fait avancer notre compréhension des phénomènes, notamment avec la prise de conscience de l'importance des phénomènes non localisés (transport de masses d'air polluées au niveau continental). Parallèlement à l'utilisation de méthodes statistiques, l'utilisation de modèles déterministes pour la prévision va à présent se développer.

L'extension des connaissances sur les aérosols (les particules) est un champ largement ouvert qui va vraisemblablement prendre de l'ampleur dans les années qui viennent.

La définition d'un programme PRIMEQUAL2 dans le cadre du futur PREDIT va être l'occasion de poser un certain nombre de problématiques à caractère probablement plus "opérationnel" que dans le premier programme.

Un dossier émergent : la Qualité de l'Air intérieur

Un volet a été largement ignoré ces dernières années: celui de la Qualité de l'Air intérieur. La mission d'Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur confiée en 2000 au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment est de nature à changer la donne, alors même que les teneurs en polluants peuvent être particulièrement élevées à l'intérieur des locaux. La relation entre Qualité de l'Air intérieur et Qualité de l'Air extérieur est également un point de questionnement scientifique. Plus largement, c'est toute la question des expositions réelles de la population qui est ainsi posée.

Une meilleure évaluation des impacts

L'évaluation objective des impacts de la pollution atmosphérique reste pour une large part à faire, notamment pour ce qui concerne la dégradation des matériaux et les impacts sur l'agriculture.

Dans un contexte où la sensibilité aux impacts sanitaires est exacerbée, une évaluation sereine des impacts sanitaires, combinant études toxicologiques et études épidémiologiques, va être un des enjeux des années qui viennent: que peut-on faire dire ou ne pas faire dire aux études épidémiologiques ? Comment être sûr de la validité des méthodes statistiques utilisées pour un domaine où le bruit est d'une amplitude comparable au signal ? Comment être sûr que les facteurs causaux ont été bien isolés et décorrélés ? Comment disposer d'approches alternatives pour ne pas dépendre d'une approbation par consensus ?

Quelles politiques publiques ?

La prise en compte de la pollution atmosphérique dans les PDU reste un chantier largement ouvert. L'en-

³ Ces deux points illustrent bien évidemment le paradoxe apparent des deux titres du Monde placés en introduction de cet article.

Bibliographie

[1] Cinq ans de recherches pour améliorer la qualité de l'air: résumés des travaux de recherche. Actes du colloque de restitution PRIMEQUAL-PREDIT. Toulouse. Novembre 2000.

[2] Atmospheric physics and chemistry: from air pollution to climate change. S. Pandys and J.H. Seinfeld. Cambridge University Press. 1998.

[3] Air pollution attributable cases. Technical report on epidemiology; technical report of the Health costs due to road traffic related air pollution. An impact assessment of Austria, France and Switzerland. Bern 1999

[4] Contre la pollution de l'air, une association se lance dans une guérilla juridique. *Le Monde*, 27 février 2001, page 9.

[5] Les maires des grandes villes ont tardé à lutter contre la pollution automobile. *Le Monde*, 12 mars 2001.

semble des PDU qui ont été adoptés ne semblent pas au jour d'aujourd'hui répondre de manière forte à des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air. Des études de synthèse sont actuellement en cours. Un autre point, probablement fondamental (mais qui dépasse le simple dossier de la qualité de l'air) est celui de la mise en adéquation des dispositions législatives et réglementaires et des connaissances scientifiques (qui pour ce cas là ont considérablement évolué depuis l'adoption de la loi).

Quelles perspectives ?

Enfin, on peut légitimement se demander si la focalisation actuelle sur la Qualité de l'Air va perdurer au delà de 10 à 15 ans en Europe⁴, l'ensemble des mesures réglementaires prises sur la qualité des carburants et les améliorations technologiques de la motorisation conduisant à une diminution drastique des émissions à l'horizon

2010 (même si le renouvellement du parc n'est pas instantané et en tenant compte d'une croissance du trafic automobile). On peut s'attendre à ce que la Qualité de l'Air soit un problème résolu dans les 15 ans qui viennent, au moins pour ce qui concerne les polluants actuellement réglementés. Peut-être, faut-il alors plutôt envisager la forte sensibilité à la Qualité de l'Air comme un levier efficace et une bonne opportunité pour faire avancer des solutions nécessaires et parfois douloureuses pour la lutte contre le changement climatique ?

Remarque

Cet article n'engage bien entendu que son auteur et en aucune manière les organismes pour lesquels il travaille. ●

⁴ La question est radicalement différente pour les pays en voie de développement bien entendu. La question de l'ozone est, on l'a vu, également plus complexe.

BULLETIN D'ABONNEMENT

Pour vous abonner, il vous suffit de nous téléphoner au 01 44 58 24 85 ou de nous retourner le bulletin ci-dessous à :

PCM LE PONT
Service Abonnement - 28, rue des Saints-Pères - 75007 PARIS

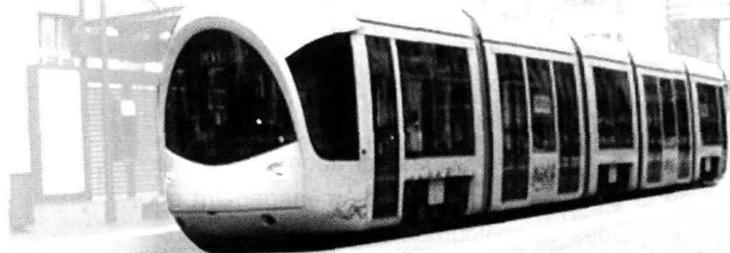
M.

Adresse :

souscrit un abonnement à PCM Le Pont

(1 an = 580 F - Etranger = 600 F) - Règlement par chèque à l'ordre de PCM, paiement à la réception de la facture

La loi sur l'air... sur le terrain



Le tramway de l'agglomération lyonnaise.

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 se décline sur le terrain en plusieurs volets à vocation essentiellement préventive : surveillance et information, plans d'amélioration de la qualité de l'atmosphère, stratégie multimodale des déplacements urbains. Un volet plus opérationnel est la gestion des pics de pollution atmosphérique. Ces orientations sont mises en œuvre par des modalités nouvelles mais aussi des outils existants.

Nous allons illustrer cette déclinaison sur un territoire, l'agglomération lyonnaise, à travers une stratégie, le plan des déplacements urbains (PDU), et un outil particulier, la gestion du trafic.

Anne GRANDGUILLOT

*Architecte Urbaniste de l'Etat
Adjointe au chef de l'Arrondissement Urbain
Direction Départementale de l'Équipement du Rhône*

Jérôme MAYET IPC 98

*Chef du Service Circulation et Sécurité
Direction Départementale de l'Équipement du Rhône*

Un plan des déplacements urbains élaboré tambour battant

Le PDU de l'agglomération lyonnaise est lancé en 1995 par R. Barre, peu après son élection comme président de la Communauté Urbaine. L'autorité organisatrice des transports urbains, le SYTRAL, est chargée de son élaboration. Les autres partenaires du PDU sont la Communauté Urbaine (voirie et urbanisme), le Conseil Général (voirie et transports interurbains), le Conseil Régional (transports ferroviaires) et l'Etat (voirie et subvention aux transports en commun).

Le SYTRAL organise le partenariat par l'intermédiaire de groupes thématiques qui sont chargés d'établir des diagnostics à partir des études existantes et des propositions d'action. Cette étape permet une véritable évolution des positions des techniciens comme des élus et la constitution d'une culture commune autour de la maîtrise de la circulation automobile, du développement des transports en commun et des modes doux et de la prise en compte de l'urbanisme dans les politiques de déplacements.

Le document final est conçu par le SYTRAL qui le soumet régulièrement à l'avis de ses partenaires au fur et à mesure de son élaboration. Il consulte également la po-

pulation à travers une large concertation : les avis sont majoritairement favorables à une action en faveur des modes alternatifs à la voiture. Fin 96 le projet de PDU de l'agglomération lyonnaise est achevé. Les dernières mises au point ont concerné sa mise en conformité avec la loi sur l'air adoptée en décembre 1996.

L'année 1997 est consacrée à la procédure d'approbation : arrêt, avis des conseils municipaux généraux et régionaux et avis du Préfet puis enquête publique. Le PDU est enfin voté par le comité syndical du SYTRAL le 14 octobre 1997, c'est le premier PDU conforme à la loi sur l'air adopté en France.

Un choix clair : favoriser les modes alternatifs à la voiture

Après un rapide diagnostic qui souligne que les perspectives imposent l'action, le PDU décline ses objectifs à 10 ans.

La réduction des nuisances

Le PDU fixe une baisse de 40 % des victimes d'accidents graves, une diminution du bruit sur les axes les plus bruyants, le respect de maxima pour le dioxyde d'azote et les particules, la requalification d'espaces urbains voués au stationnement, et le gel de la capacité globale de la voirie urbaine.

Le renforcement de l'accessibilité, l'équité et la sécurité de la ville

Des modes de déplacements concurrents à l'automobile seront mis en place, pendant que tous les transports en commun amélioreront leur performance. Les pratiques d'intermodalité doivent être augmentées et les

disparités de desserte réduites, au bénéfice des zones excentrées et des quartiers sensibles. Les incidents sur le réseau doivent diminuer.

Le renversement de la tendance dans la répartition des déplacements entre les différents modes

En 1995, 77,5 % des déplacements mécanisés étaient effectués en automobile, en poursuivant la tendance ce pourcentage atteindrait 80 %. L'objectif est passé en dessous de 75 %, en doublant la part des vélos et en augmentant la part des transports en commun nettement au-dessus de 20 %.

Ce premier PDU traduit bien la plupart des orientations de la loi sur l'air : diminution du trafic automobile, développement des transports collectifs et des modes doux (bicyclette et marche à pied), aménagement et exploitation du réseau de voirie en l'affectant aux différents modes et en favorisant les actions d'information sur la circulation, organisation du stationnement.

Les deux orientations restantes sont mentionnées sans être développées. L'agglomération commence tout juste à travailler sur l'organisation du transport et de la livraison des marchandises, et l'encouragement pour les entreprises et les collectivités à orienter le transport de leur personnel vers le covoiturage et les transports en commun.

Le document définit également les actions à mettre en œuvre et les modalités de vie du PDU. Si les mesures concernant les transports en commun sont décrites assez précisément, l'essentiel du document propose

des orientations générales, à charge pour chaque maître d'ouvrage de les décliner.

Quelle mise en œuvre du PDU ?

La mise en œuvre la plus visible du PDU est l'inauguration le 18 décembre 2000 de 2 lignes de tramway. Elles font partie des 11 lignes fortes projetées dans le document. Parallèlement les autres lignes sont à l'étude, un schéma des transports ferroviaires a été élaboré, la modernisation des réseaux se réalise.

La question des grandes voiries est abordée dans le cadre de la Directive Territoriale d'Aménagement en cours. Les études du contournement Ouest se poursuivent de même que les discussions sur le bouclage du périphérique.

Le plan d'occupation des sols a été révisé. Un projet de plans de déplacements de secteurs vient d'être envoyé à l'ensemble des partenaires du PDU pour avis.

Une charte vélo et une charte piétons ont été adoptées, un certain nombre d'aménagements ont été réalisés dans cet esprit. Le stationnement "résident" a été étendu.

Des études approfondies sont en cours sur la circulation des marchandises et des livraisons, sur la tarification fer/autoroute.

Enfin un comité consultatif des déplacements urbains réunit les partenaires du PDU et les associations plusieurs fois par an. Un observatoire des déplacements a été mis en place.



Par la suite nous approfondissons cette mise en œuvre du PDU – et plus largement de la loi sur l'air – à travers l'exemple de la gestion du trafic.

Le système CORALY et la gestion des grandes voiries

Parmi les infrastructures de transport structurantes de l'agglomération lyonnaise figurent 170 km de voies rapides urbaines. Ces voiries sont marquées par une mixité entre des trafics de transit et des trafics locaux. Par ailleurs le réseau de voies rapides est fortement maillé. Sur l'axe Paris-Marseille en particulier existent deux alternatives : le tracé historique (A6-Fourvière-A7) et le contournement Est (A46N-RN346-A46S). La dernière caractéristique est le partage de la maîtrise d'ouvrage entre 6 entités, dont l'Etat, le Conseil Général du Rhône, la Communauté Urbaine de Lyon et 3 sociétés d'autoroute (AREA, ASF, SAPRR).

Cette multiplicité d'acteurs a été la raison de l'élaboration au début des années 90 d'un partenariat pour la gestion du trafic baptisé CORALY (coordination et régulation sur les voies rapides de l'agglomération lyonnaise). Ce partenariat s'est concrétisé au long de la décennie qui s'achève par des dispositions contractuelles (objectifs et pratiques d'exploitation), réglementaires (arrêtés préfectoraux globaux) et technologiques (développement d'outils communs).

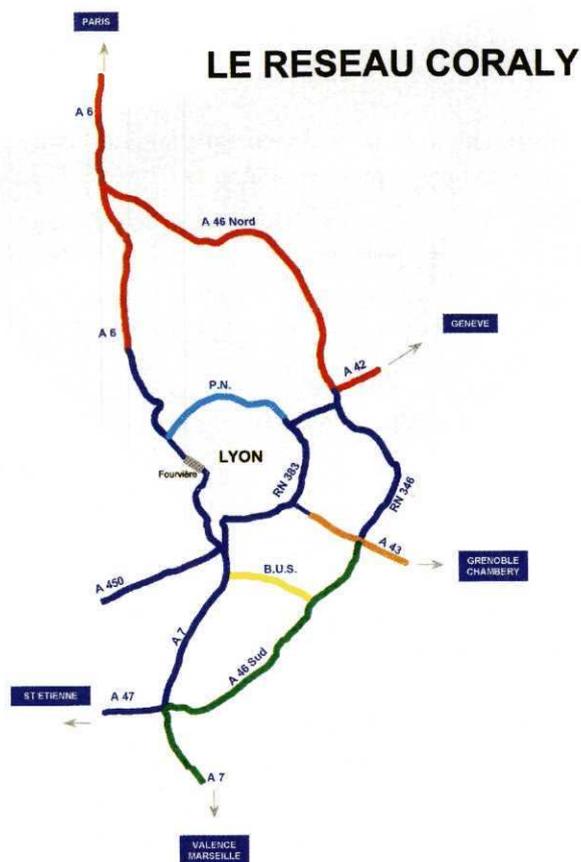
Aujourd'hui le poste de coordination générale CORALY centralise les données et gère le trafic à l'échelle de l'agglomération. Chaque gestionnaire reste compétent à travers une salle opérationnelle spécifique, de la viabilité et des interventions sur son secteur. CORALY est par contre responsable de la gestion entre deux branches du réseau, et peut en particulier :

- guider les usagers grâce à des conseils sur panneaux à messages variables (PMV),
- basculer le trafic grâce à l'outil très puissant que constituent les sites directionnels variables. Ces dispositifs permettent de changer les mentions de grandes directions (Paris, Marseille) de la signalisation directionnelle (bleue sur autoroute).

Du PDU à CORALY

Ces voiries rapides sont notamment concernées par les orientations du PDU qui visent à écarter de l'agglomération le trafic de grand transit, protéger les centres des trafics d'échange, geler les capacités des voiries pénétrantes, gérer l'usage du réseau viaire. Quel lien avec les stratégies régulièrement employées par CORALY ?

La plus forte convergence se trouve au niveau de la gestion du trafic de transit. La position par défaut des sites directionnels variables indique Paris ou Marseille



par le contournement Est. Cet itinéraire très chargé ne peut cependant pas soutenir les perturbations causées par un accident ou la congestion due aux grandes migrations. CORALY lors, de ces événements exceptionnels soulage le contournement en indiquant Paris et Marseille via A6-A7.

Le système parvient à écarter la plupart du temps le transit du centre tout en évitant le blocage d'un axe d'importance européenne. CORALY permet de pallier à un manque d'infrastructures ou du moins d'attendre leur construction. Malgré les effets bénéfiques du système, la saturation du contournement a amené l'Etat à lancer les études d'un contournement Ouest (COL) qui devrait séparer définitivement transit et trafics locaux.

Le PDU fixe également la contrainte de geler la capacité des pénétrantes sur Lyon avec l'idée de limiter les déplacements automobiles domicile travail. CORALY contribue à la fluidité par la gestion des événements. Les trafics locaux sont cependant peu affectés par les sites directionnels variables, aussi les gains de capacité sont très limités par rapport à ceux décrits plus haut pour le transit. Les PMV sont plus fréquemment utilisés pour des messages de sécurité que des conseils de guidage. Le système apporte essentiellement une stabilisation du niveau de service.

Au global CORALY est un outil d'application de la politique des déplacements fixée par le PDU. Bien que cela

n'ait pas été envisagé au départ, le système est également très utile pour relayer les mesures prises en cas de pics de pollution atmosphérique.



La poste de coordination CORALY.

Actions de CORALY en cas de pollution atmosphérique

La procédure d'alerte à la pollution atmosphérique dans l'agglomération lyonnaise comprend trois niveaux, en fonction de la concentration en NO₂, O₃, SO₂. A partir du niveau 2, Le Préfet du Rhône a la possibilité de prendre des mesures :

- limitations de vitesse à 90 km/h ou 70 km/h sur une partie du réseau rapide,
- restriction de circulation des PL sur A6-A7,
- circulation alternée.

CORALY joue un rôle important dans la transmission de ces mesures vers les usagers. Tout d'abord le système va utiliser tous les PMV disponibles des partenaires pour informer des restrictions décidées. Les différentes salles opérationnelles vont également activer les équipes de terrain pour déployer la fixe complémentaire. Enfin les partenaires autoroutiers de CORALY vont utiliser leurs médias spécifiques, en particulier les 107.7, pour expliquer les mesures prises à leurs auditeurs.

Mais quels sont les effets et surtout l'utilité de ces mesures ? Il est tout d'abord certain qu'elles comprennent une forte composante symbolique. Elles représentent la mobilisation de la puissance publique sur le thème de la pollution atmosphérique. Cependant des études

- **La Communauté Urbaine de Lyon** comporte 55 communes et 1,2 million d'habitants sur 72 000 hectares. Le centre-ville est composé de Lyon et Villeurbanne regroupant 570 000 habitants.

- **SYTRAL** : Le SYndicat mixte des TRansports de l'Agglomération Lyonnaise est l'autorité organisatrice des transports urbains, sur le périmètre de la Communauté Urbaine. Ce syndicat est composé de la Communauté Urbaine et du Conseil Général.

- **PDU** : Le Plan des Déplacements Urbains définit les principes de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement, dans le périmètre des transports urbains. Il vise à établir un équilibre durable entre mobilité et environnement à travers une coordination des modes de transport.

montrent que les mesures les plus volontaristes (circulation alternée et limitation à 70 km/h) ont un effet sur la concentration dans l'air de plusieurs polluants. Il est vrai qu'un changement météorologique a une action plus importante. Des études, en particulier de l'académie des sciences, semblent indiquer que l'impact négatif sur la santé de la pollution est plausible. Dans ce cas, les mesures d'urgence citées devraient avoir des effets sanitaires positifs. Encore faut-il qu'elles soient respectées par les usagers, ce qui n'a pas pu encore être observé à Lyon. Sans pouvoir bien entendu le garantir, CORALY permettra au moins de l'évaluer grâce à sa base de données des vitesses et des comptages, le jour où la situation se produira.

Conclusion

La nouvelle loi solidarité et renouvellement urbain conforte le rôle du PDU ; elle prévoit la prise en compte d'un fort volet déplacements dans les schémas de cohérence territoriale permettant ainsi l'émergence d'une stratégie des déplacements à la bonne échelle en lien étroit avec le développement des territoires. A Lyon les partenaires se sont recentrés sur leur compétence après l'adoption du PDU ; cette loi sera l'occasion pour l'agglomération de poursuivre réflexion et dialogue et de se mobiliser sur la question du périurbain dans l'esprit du développement durable.

En parallèle de nouveaux outils de gestion du trafic se déploient. Médias d'information routière, gestion multimodale des déplacements, régulation des accès aux voies rapides, tarification des déplacements donneront des possibilités supplémentaires d'application des orientations de la loi sur l'air et du PDU. ●



Les aérosols, polluants atmosphériques

Les enjeux de la pollution par les aérosols émis par les moteurs thermiques sont analysés, de même que les diverses voies possibles pour réduire leurs effets. On oublie en effet trop souvent que l'impact des aérosols en termes de santé publique n'est pas négligeable.

Brian GRASKOW

Il est ingénieur diplômé de l'Université du Minnesota. Il travaille au département d'Engineering de l'Université de Cambridge, dans le groupe de thermodynamique appliquée, où il s'intéresse à la dynamique des aérosols (traduction : Pierre CARLOTTI).

Introduction

La pollution de l'air par les particules est depuis longtemps un objet de préoccupation, à la fois à cause de ses effets sur la santé, et à cause des problèmes esthétiques. Les particules qui se trouvent en suspension dans l'atmosphère ont des tailles très variables, comprises entre 1 nm et 100 μm . La forme et la composition de ces particules sont très variables, et elles sont produites par de nombreux mécanismes différents, les principaux étant la combustion et l'usure mécanique. La *figure 1* montre les différents ordres de taille des particules les plus fréquemment trouvées dans l'atmosphère.

D'une façon générale, on peut séparer en deux catégories les effets des particules dans l'atmosphère, selon leur taille. Les grosses particules (de taille supérieure à 1 μm) sont en général responsables de la "pollution esthétique" : brume, salissure des bâtiments, etc. Ces grosses particules peuvent de plus avoir un effet non négligeable sur le climat de la planète, car elles ont une influence sur la quantité d'énergie solaire qui atteint la surface terrestre, soit directement, soit indirectement en servant de noyaux de condensation pour la formation des nuages. Ces grosses particules servent aussi de catalyseur pour de nombreuses réactions chimiques ; en particulier, elles sont un élément nécessaire des réactions qui sous-tendent la variation saisonnière du trou dans la couche d'ozone antarctique.

D'un autre côté, on pense que les particules fines (plus petites que 1 μm) ont des effets négatifs sur la santé hu-

maine. Un certain nombre d'études dans la dernière décennie ont montré des corrélations fortes entre les niveaux de pollution par les particules fines et les problèmes respiratoires, qui ont pour effet un accroissement des taux de mortalité. Une étude récente (Kunzli et al., *Public Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment*, The Lancet, Volume 356, pages 795 à 801 (2000) impute 6 % de la mortalité totale à la pollution par les particules fines en France, en Autriche et en Suisse. Il y a en particulier des préoccupations quant à l'émission des "nanoparticules" (particules de taille inférieure à 50 nm) qui peuvent pénétrer profondément dans les tissus pulmonaires, où ils causeraient de graves inflammations et des problèmes pulmonaires aigus.

La formation des particules

Les sources de combustion en général, et les moteurs à explosion en particulier, sont la source principale de particules fines dans l'atmosphère. Ceci est particulière-





Coucher de soleil sur Phoenix (Arizona), vu de l'est de l'agglomération ; la couleur rouge est due à la diffusion de la lumière par les particules.

ment vrai dans les zones urbaines, où les véhicules routiers (voitures, autobus, autocars et camions) produisent approximativement 80 à 90 % des particules fines. La formation et l'émission de particules fines par les véhicules sont des processus complexes qui se déroulent en plusieurs étapes. La grande majorité des nanoparticules sont formées quand les gaz d'échappement quittent le tuyau d'échappement. Quand les gaz d'échappement chauds se mélangent à l'atmosphère, ils se refroidissent, et certains produits gazeux (en particulier les sulfates, les hydrocarbures et l'eau) se condensent (plus précisément, il s'agit de nucléation, un processus identique à la condensation mais qui ne nécessite pas la présence d'une surface de condensation) en particules.

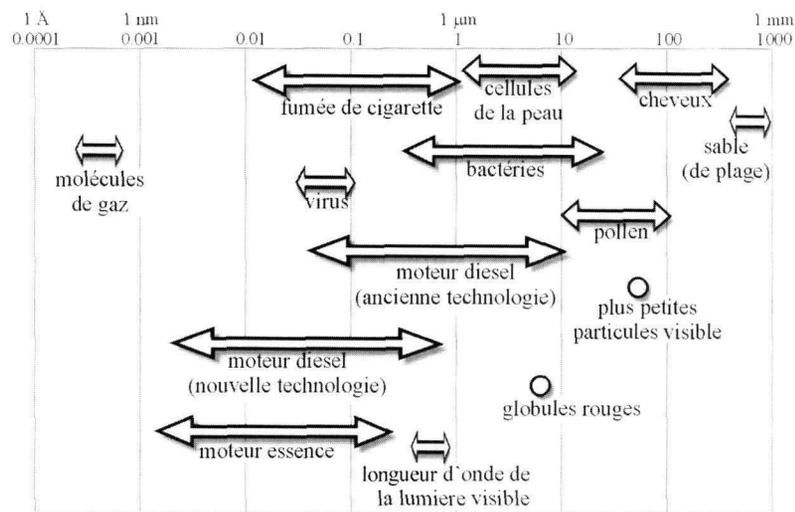
De telles particules formées par nucléation sont au départ très petites (de 1 à 30 nm). Des particules plus grosses peuvent se former si ces très petites particules rentrent en collision et adhèrent les unes aux autres, constituant ainsi une seule particule plus grosse. Les particules peuvent aussi grossir par la condensation de produits d'échappement en phase gazeuse sur leur surface. De tels processus sont très rapides, se produisant sur un temps de l'ordre de 10 à 100 millisecondes, et produisent un très grand nombre de particules (des concentrations de 108 particules par centimètre cube sont fréquentes).

Il est établi que le processus de formation de particules est non linéaire et dépend fortement des conditions thermodynamiques et des détails du processus hydrodynamique de dilution. De petites variations des condi-

tions atmosphériques, comme la température ambiante, l'humidité et les taux de dilution modifient le mécanisme de formation des particules. Même la position de l'extrémité du tuyau d'échappement sur le véhicule (qui influence le mélange lors de la dilution des produits d'échappement) peut avoir une profonde influence sur l'émission des particules. Les émissions de particules d'un véhicule donné varient considérablement selon le temps qu'il fait : froid ou chaud, humide ou sec, calme ou venté. La variabilité extrême des émissions rend très difficile le choix des conditions expérimentales qui reproduisent de façon fiable les résultats du "monde réel".

Législation et contrôle

Le contrôle législatif et réglementaire des émissions de moteurs à combustion interne en Europe et aux Etats-Unis porte traditionnellement sur la masse totale des particules recueillies dans l'échappement du moteur lors d'un cycle d'utilisation prédéfini du véhicule. L'échelle des tailles des particules recueillies dans ces tests recouvre toutes les particules de taille inférieure à 10 μm en Europe et 2,5 μm aux Etats-Unis. Selon ce critère, les moteurs modernes sont extrêmement propres, et se sont nettement améliorés au cours des 10 dernières années (les voitures particulières modernes produisent moins de 10 mg de particules par kilomètre parcouru). Malheureusement, de telles normes fondées sur la masse totale ne permettent pas de contrôler les nanoparticules, car leur contribution en masse est absolument négligeable (par exemple, une seule particule de 1 μm représente en masse un million de particules de



Distribution de taille des particules.

10 nm). De plus, une norme fondée sur le nombre de nanoparticules est impossible à mettre en pratique, à cause des incertitudes sur la formation et la mesure de la taille de ces particules, comme expliqué ci-dessus.

La majeure partie de la réduction de l'émission de particules par les moteurs à explosion pendant la dernière décennie a été obtenue par des améliorations de la combustion dans le moteur. Maintenant que la combustion est pratiquement optimisée, les fabricants de moteurs doivent se tourner vers des améliorations d'autres éléments pour réduire encore les émissions. Un des changements les plus significatifs à ce propos a été la réduction générale des composés soufrés dans les carburants essence et diesel. La réduction des taux de soufre diminue les émissions de particules à la fois directement (les composés soufrés sont l'une des principales sources de particules) et indirectement, en permettant l'usage de tuyaux d'échappement catalytiques plus efficaces (les catalyseurs sont empoisonnés par les composés soufrés). Une autre stratégie pour la réduction des émissions est en effet l'utilisation de tuyaux d'échappement catalytiques modernes. Ces systèmes peuvent filtrer les gaz d'échappement en piégeant les particules dans des structures poreuses où elles peuvent être éliminées par oxydation catalytique. Ces catalyseurs, très efficaces, sont très chers et peuvent nécessiter un entretien régulier, ce qui limite leur utilisation aux gros moteurs diesel.

Une stratégie prometteuse pour les moteurs essence et diesel est l'emploi dans le carburant d'additifs du commerce. Certains additifs utilisés à très petite concentration (qui peuvent être bon marché s'ils sont ajoutés au carburant à la raffinerie) entraînent une très forte réduction des particules fines. Une dernière possibilité est de maîtriser le processus de refroidissement et de dilution à la sortie de l'échappement. L'utilisation d'échangeurs de chaleur (pour refroidir l'échappement avant sa sortie

dans l'atmosphère) et de géométries particulières de l'extrémité des tuyaux d'échappement (ce qui agit sur le mélange de l'échappement avec l'air ambiant) peuvent réduire de façon significative la formation de particules. Les particules ne sont même pas formées, leurs précurseurs (présents dans l'échappement) restant en phase gazeuse. Cette technique, très efficace, reste difficile à mettre en œuvre du fait de la grande variété des conditions d'opération des moteurs et des fluctuations importantes des variables atmosphériques. Elle fait actuellement l'objet de recherches expérimentales.

Conclusion

Les particules émises par les sources de combustion (essentiellement le transport routier) sont une importante cause de pollution atmosphérique. Alors que les grosses particules génèrent de la pollution esthétique et influencent le climat, les particules fines sont dangereuses pour le système pulmonaire. Durant la dernière décennie, les émissions ont été fortement réduites, mais des progrès sont encore à faire, en particulier dans le domaine des nanoparticules (moins de 50 nm). Pour que ces progrès, rendus nécessaires par une réglementation de plus en plus stricte, puissent se faire, de nouvelles techniques doivent être développées. A court terme, la technologie des catalyseurs de nouvelle génération permettra de supprimer de l'échappement les particules créées par les moteurs avant qu'elles n'atteignent l'atmosphère. A plus long terme, des mesures plus efficaces (comme l'utilisation d'additifs dans le carburant, l'élimination des composés soufrés, la manipulation des processus de refroidissement et de dilution de l'échappement) seront utilisées pour directement éviter la formation de particules. De tels progrès nécessiteront un effort soutenu dans les méthodes théoriques et pratiques utilisées pour étudier la formation de ces particules, leur émission, l'exposition des humains, et leurs effets sur la santé. ●

La qualité de l'air dans les bâtiments

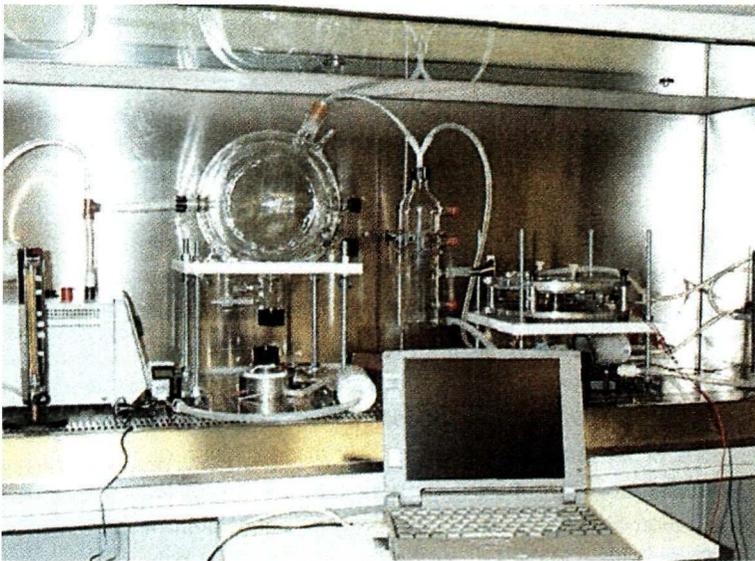
Il y a aujourd'hui une bonne observation de la qualité de l'air extérieur. Mais pour l'atmosphère intérieure où l'homme moderne passe plus de 80 % de son temps, presque tout reste à faire...



Raphaël SLAMA
IGPC 65 - MS Berkeley 71

Directeur du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

La croissance des maladies respiratoires, des allergies et de l'asthme dans les pays développés conduit à accorder une attention de plus en plus grande aux facteurs de risque environnementaux, et en particulier à la qualité de l'air. Or c'est dans l'environnement intérieur que l'homme passe l'essentiel de son temps : plus de 80 %. La qualité de l'air intérieur fait donc l'objet d'une attention croissante des spécialistes de santé publique, et des professionnels du bâtiment. Après un rappel des pathologies et des polluants relatifs à l'air intérieur, nous décrivons les éléments de politique de gestion des risques qui ont été arrêtés par le Ministère de l'Équipement-Secrétariat d'État au Logement.



Aptitude des matériaux de construction à favoriser la prolifération de micro-organismes : appareil de production d'aérosols fongiques développé dans le laboratoire de microbiologie du CSTB.

Les pathologies

En dehors de l'intoxication par l'oxyde de carbone, connue depuis longtemps, qui est malheureusement loin d'avoir disparu, ou des incidents liés à certains produits (mousses isolantes urée-formol), c'est surtout par la médecine du travail que les pathologies liées à la qualité de l'air intérieur ont été abordées en premier lieu. C'est ainsi que les maladies liées à l'inhalation ou à l'ingestion de poussières de plomb ont été identifiées depuis longtemps, de même que, depuis le milieu du vingtième siècle, celles liées aux fibres d'amiante.

Dans la période plus récente, on a vu apparaître la "maladie du légionnaire", grave affection pulmonaire contractée dans l'air extérieur ou dans l'air intérieur. En effet les légionnelles sont des bactéries assez communes qui deviennent dangereuses lorsqu'elles prolifèrent dans des réseaux d'eau chaude, tels que ceux des bâtiments d'habitation ou des établissements de soins, ou ceux des tours de refroidissement (aéroréfrigérants) des grands immeubles tertiaires. La contamination se fait par inhalation de l'aérosol, chargé de bactéries, produit par la pomme de douche ou véhiculé en extérieur par le panache des tours aéroréfrigérantes.

En dehors de ces pathologies, qui sont bien documentées, il y a le plus souvent une incertitude sur les causalités, en raison du décalage important entre l'exposition et ses effets observables. Il s'agit en effet d'une exposition à des polluants de faibles doses, et sur de très longues périodes.

Étant donné l'importance de la population exposée, à son insu, à ces risques, il y a là un gros enjeu de santé publique. Après la déclaration dans ce sens de M. Louis BESSON, Secrétaire d'État au Logement, en Conseil des Ministres (septembre 1999), c'est ce qu'affirme aussi plus récemment le rapport du Haut Comité de la Santé Publique (juin 2000).

Les polluants de l'air intérieur

On peut distinguer les familles suivantes :

- Les polluants d'origine biologique : moisissures, acariens.



Chaque espace intérieur constitue un milieu de vie différent, résultant des caractéristiques architecturales et du système de chauffage et de ventilation. (Ici le centre administratif de Saint-Germain-en-Laye).

Les moisissures, champignons microscopiques, se développent sur des parois intérieures maintenues humides par des phénomènes de condensation superficielle. Les acariens, quant à eux, sont présents sur les moquettes, la literie, etc. Ces micro-organismes sont irritants et déclencheurs de l'asthme. Le maintien de l'humidité relative de l'air autour de 40 à 50 % (par la ventilation en particulier) permet de lutter contre ces pollutions.

- Les particules fines produites par la combustion (chauffage, moteur des véhicules de transport), et les fibres minérales, d'origine diverse. Les unes et les autres peuvent se déposer dans les alvéoles pulmonaires, les particules ultra-fines pouvant pénétrer dans le sang et atteindre les organes.
- Le benzène et les composés organiques volatils, dont les effets peuvent aller de l'irritation jusqu'à des maladies graves (cancers). Ces polluants sont aussi présents dans l'air extérieur, mais leur concentration dans l'air intérieur est souvent cinq à dix fois plus élevée.
- La radioactivité, en particulier celle provenant du

radon, gaz radioactif naturel présent dans les massifs cristallins. Il tend à se concentrer dans l'habitat mal ventilé et non isolé du terrain naturel.

Les politiques publiques de gestion des risques

La démarche publique repose classiquement sur trois étapes :

- Identification des risques.
- Evaluation des risques.
- Actions opérationnelles de gestion des risques.

Dans ce cadre, lors du Conseil des Ministres évoqué ci-dessus, les mesures suivantes ont été envisagées, et, pour la première, décidée :

Observatoire de l'air intérieur

Il doit permettre de développer la connaissance des polluants dans l'habitat, les équipements publics et les locaux tertiaires. Sa mise en œuvre a été confiée au CSTB en partenariat avec plusieurs organismes publics, en particulier l'INERIS. En 2002, cet Observatoire doit permettre de mesurer la pollution sur 1 000 "lieux de vie" (en priorité des logements et des écoles). Pour chaque site, deux échantillonnages seront effectués, l'un en hiver, l'autre en été. Les mesures seront faites simultanément sur l'air intérieur et l'air extérieur, pour les polluants cités plus haut ainsi que pour quelques autres (éthers de glycol, dioxyde d'azote).

Ventilation

La concentration de polluants dans l'atmosphère intérieure dépend de la pollution extérieure, des différentes sources d'émission de polluants présentes dans le local, et du système de ventilation qui régit leur diffusion et leur élimination.

L'aération des bâtiments d'habitation était traditionnellement assurée par ventilation naturelle (tirage statique par conduits, ouverture des fenêtres, perméabilité de l'enveloppe). Aujourd'hui, la VMC (ventilation mécanique contrôlée) est systématique dans l'habitat collectif, et présente dans un grand nombre de maisons individuelles.

Le tirage statique est influencé par le champ aérodynamique autour du bâtiment, qui varie sans cesse et qui peut contrarier son fonctionnement. La VMC, quant à elle, est d'une efficacité très variable dans l'habitation, en raison d'une mise en œuvre souvent incertaine, liée à l'absence d'un corps d'état spécifique (à la différence de la situation dans le secteur tertiaire). De même la position des prises d'air extérieur par rapport aux sources locales de pollution (trafic, émissions des autres bâtiments), est loin d'être toujours optimale.

Le renforcement de la réglementation relative à la ventilation, et le contrôle de l'efficacité de celle-ci, apparaissent donc comme d'importants enjeux de santé publique.

Dans un stade ultérieur, une véritable gestion des circulations d'air dans les pièces permettra une adaptation de la ventilation à l'occupation réelle, dans le temps mais aussi dans l'espace. Elle permettra d'allier la satisfaction de l'exigence d'hygiène à celle de l'économie d'énergie.

L'information sur les émissions des produits de construction

L'obtention d'un environnement intérieur sain suppose la connaissance des émissions liées aux produits de construction. De la sorte, le maître d'ouvrage ou l'architecte pourront écarter des produits responsables d'émissions auxquels les occupants présentent une sensibilité particulière.

La mise en œuvre de ce "droit à l'information" requiert tout d'abord la disponibilité de protocoles de mesure des émissions, ce qui est progressivement le cas au niveau européen et international. Doit aussi être élaboré un "format" de présentation de l'information, de façon à

éviter tout biais. Une telle norme est actuellement à l'étude à l'AFNOR, avec la participation de tous les professionnels du bâtiment.

Afin de maîtriser les risques pour la santé liés aux nouvelles façons de construire et aux nouvelles façons d'habiter, une politique est en train de s'affirmer, reposant sur quatre piliers :

- Développer une approche épidémiologique et pluridisciplinaire des risques liés à l'environnement intérieur.
- La nature des polluants présents dans les bâtiments et leur concentration sont encore très mal connues. Il faut développer une base de connaissances quantifiée sur les expositions dans les différents lieux de vie (Observatoire).
- Développer la connaissance du cycle de l'air dans le bâtiment, et donner la place qu'elles méritent à la ventilation et à la maintenance (nettoyage en particulier).
- En l'absence de données épidémiologiques suffisantes pour servir de base à des mesures réglementaires, il faut permettre l'exercice des choix individuels et pour cela appliquer un véritable droit à l'information sur les principales émissions polluantes des produits de construction. ●

Assemblées générales des associations AAENPC et AIPC

**mardi 26 juin 2001
après-midi à l'ENPC**

**28, rue des Saints-Pères
Paris 7^e**

LES GEOTEXTILES PROPEX®

Les Géotextiles Propex® sont une famille de textiles tissés à base de polypropylène, développés spécialement pour un vaste domaine d'applications en génie civil, comprenant les travaux de terrassement, d'assainissement, de drainage, de renfort du sol et de protection contre l'érosion.

UTILISATION

Les géotextiles sont conçus à base de polypropylène stabilisé aux ultraviolets afin de pouvoir résister au rayonnement solaire et aux milieux agressifs.

Ils peuvent être employés dans tous les travaux, qu'ils soient définitifs ou provisoires.

Pour les travaux définitifs, ils sont utilisés en terrassement, assainissement et génie civil comme armature, anticontaminant, filtre et pour prévenir le colmatage.

Pour les travaux provisoires (voies d'accès ou de chantiers) l'utilisation du Propex® amène une diminution de l'épaisseur du remblai, la possibilité de circulation sur de mauvais sols non trafiquables autrement, un meilleur maintien des voies.

Dans les travaux routiers "le Propex sépare et renforce". La résistance du Propex® lui permet de supporter une partie de la charge créée par les roues des véhicules réduisant la pression sur le sol en place.

L'eau pourra circuler librement sans entraîner les particules fines, chaque couche conservant ainsi ses caractéristiques propres.

L'action conjuguée de ces phénomènes procure à la voirie concernée une durée de vie beaucoup plus longue, en permettant le surcroît des économies de coût en travaux et en réalisation de chantiers.

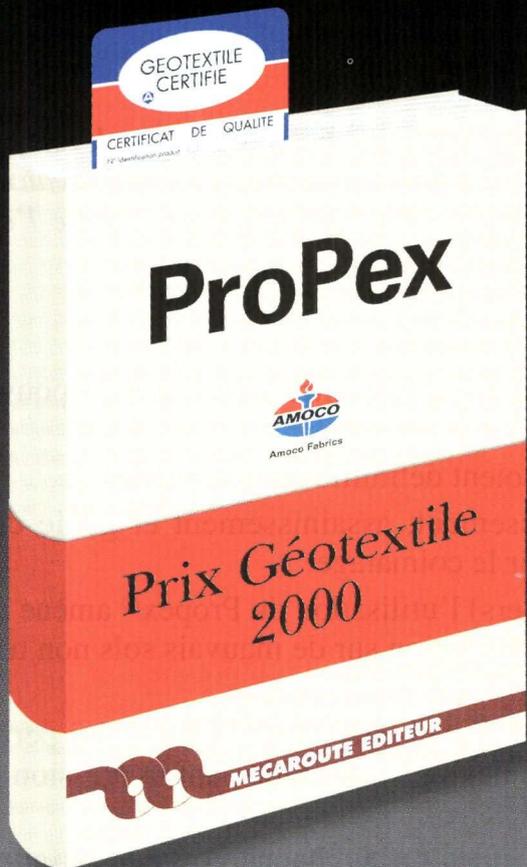
MANIPULATION ET STOCKAGE

"Le Propex est facile à manier et à poser"

La gamme standard des géotextiles Propex® est fabriquée à base de rouleaux de largeur 5,20 m et de longueur 200 m ou plus (autres dimensions disponibles).

Le poids total des rouleaux varie de 95 kg à 270 kg avec une majorité de produits vers 100 à 120 kg. Il reste donc très facile de manipuler les rouleaux légers, les plus lourds étant manipulés mécaniquement.

MECAROUTE S.A.
Division Géosynthétiques
68, avenue des Guillaeraies
BP 810
92008 NANTERRE CEDEX
Tél. 01 40 97 55 30



DÉJÀ PARU !

"On peut juger assez remarquable le comportement du géotextile qui, sollicité plus que de raison, a permis cependant de réaliser la couche de forme (Pont-Yblon-93)".
A. Hirschauer - Laboratoire Régional de l'Est Parisien

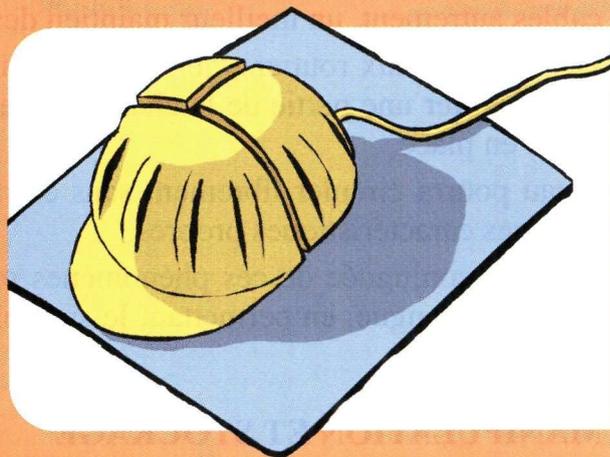
"Ce géotextile répond efficacement au problème de stabilisation de chaussées sur sols limoneux très plastiques, tout en réduisant le coût de construction de 35 à 40 % sur le volume du tout-venant calcaire 0/200 mm".
D. Biquillon - ONF Bar-Ligny (55)

DÉJÀ PLUS DE 50 MILLIONS
D'EXEMPLAIRES VENDUS
DE M² EN FRANCE

DISPONIBLE CHEZ VOTRE ~~LIBRAIRE~~
MECAROUTE ~~REVENDEUR~~

MECAROUTE S.A. GÉOSYNTHÉTIQUES
Tél. 01 40 97 55 30 • Fax 01 47 25 10 69
E-mail : mecaroute@online.fr

La place de marché des professionnels de la construction



www.bravobuild.fr
Inscription gratuite

0 811 90 64 38

prix appel local

BRAVOBUILD

Vous gagnez du temps, vous gagnez de l'argent

CO-SPIRIT ONLY ...

DE LA SUITE DANS LE DÉVELOPPEMENT



En 2000, Dexia confirme l'excellence de ses performances avec un résultat net part du groupe en progression de 31,5 % à 1001 millions d'euros.

N° 1 mondial du financement des collectivités locales

Déjà leader européen du financement des équipements collectifs, Dexia, avec le rachat de la société américaine FSA (Financial Security Assurance) est désormais numéro 1 mondial dans ce métier.

Intervenant majeur de la bancassurance en Belgique

L'intégration en Belgique du groupe Artesia au sein de Dexia Banque, filiale bancaire de Dexia, hisse Dexia au 2^{ème} rang des bancassureurs en Belgique.

Acteur reconnu dans la banque privée et la gestion d'actifs

L'acquisition en 2000 de la banque Labouchere aux Pays-Bas et la fusion avec Artesia placent Dexia parmi les cinq premiers intervenants dans l'Euroland, en termes de résultats.

Numéro Vert : 0 800 35 50 00
www.dexia.com



Une valeur européenne à suivre...

Génération CEA

L'année dernière, près de
900 personnes nous ont rejoints

Pourquoi pas vous ?



Le CEA, organisme public de recherche, a pour vocation de contribuer au progrès des connaissances scientifiques et techniques, au dynamisme de l'économie française et à la satisfaction des besoins de la société, dans les domaines de l'énergie, des nouvelles technologies, de la santé et de la défense.

Rejoindre le CEA, c'est contribuer aux grandes priorités nationales de recherche ; c'est aussi s'assurer la possibilité de développer un parcours professionnel motivant dans une communauté scientifique pluridisciplinaire et ouverte sur la recherche internationale et le monde industriel.

- proposer des solutions pour le développement de l'énergie nucléaire (réacteurs du futur, cycle du combustible, gestion des déchets)
- renforcer la connaissance de l'impact des activités nucléaires sur l'environnement et la santé
- contribuer à l'essor des nouvelles technologies de l'énergie, des technologies de l'information et de la communication, des biotechnologies
- repousser toujours plus loin les connaissances fondamentales en physique, en biologie et en médecine

Toutes nos offres d'emploi
<http://www-pova.cea.fr>

cea