

L'ozone en Franche-Comté

René FURY, Météo-France ; Daniel JOLY, ThéMA, CNRS-UMR 6049, Université de Franche-Comté ;
Fabien MINISCLoux, ARPAM ; Francis SCHWEITZER, ASQAB

Depuis près de 20 ans, l'ozone apparaît fréquemment à la une de nos quotidiens : « trou d'ozone » dans la stratosphère, trop d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère... Ces problèmes méritent que l'on s'y intéresse car l'ozone est, à bien des titres, un composant important de la physico-chimie et de la qualité de l'air. Avant de nous pencher sur la situation en Franche-Comté, il nous est apparu souhaitable de présenter un court récapitulatif sur le sujet.

L'ozone stratosphérique et l'ozone de la basse couche atmosphérique

De même structure chimique, l'ozone stratosphérique et l'ozone de la basse couche ont des incidences diamétralement opposées : protecteur de la vie terrestre lorsqu'il se localise dans la stratosphère, il devient polluant lorsqu'il est présent dans les basses couches atmosphériques :

— dans la haute atmosphère (stratosphère), le principal rôle de l'ozone consiste à filtrer le rayonnement solaire en absorbant notamment les rayons ultra-violets (UV), ce qui protège tous les organismes vivants à la surface du globe. Or, aux environs des années 1985, des chercheurs ont montré que l'équilibre de l'ozone stratosphérique était modifié suite aux rejets dans l'atmosphère de substances, principalement les chlorofluorocarbures (CFC), qui, catalysant la destruction de cette molécule, sont responsables des fameux « trous » dans la couche d'ozone. Une diminution de la quantité totale d'ozone pourrait conduire à un accroissement du nombre de cancers de la peau : le rayonnement UV peut en effet modifier la constitution des molécules complexes du vivant et en particulier l'ADN, entraînant toutes sortes de mutations nocives ; toute cellule vivante pourrait être touchée ;

— l'ozone troposphérique (basse couche atmosphérique) est le produit de réactions photochimiques à base de polluants directement rejetés par les activités humaines. Si les concentrations en ozone dans l'air ont augmenté depuis plusieurs années, elles varient fortement d'un lieu à l'autre :

modérément concentrées en ville, elles augmentent en zone péri-urbaine. Cette pollution est présente de mai à septembre, pendant les mois où le rayonnement solaire est actif. L'ozone de la basse couche, gaz au pouvoir oxydant, est un gaz agressif pour les muqueuses oculaires et respiratoires. Les conséquences d'une telle pollution sont essentiellement médicales : recrudescence de divers problèmes respiratoires, sensibilité accrue aux différentes infections virales et bactériologiques. La nature est également mise à mal par ce gaz, des tâches jaunâtres apparaissant sur certains arbres. Des textes de loi préconisent des valeurs à ne pas dépasser : les objectifs de qualité sont de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 heures pour la protection de la santé humaine et de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures pour la protection des végétaux.

Pourquoi une étude en Franche-Comté ?

L'ASQAB (Association de Surveillance de la Qualité de l'Air dans l'Agglomération Bisontine et le Sud Franche-Comté) et l'ARPAM (Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air dans le Nord Franche-Comté) sont deux associations dont l'objectif premier consiste à surveiller la qualité de l'air en Franche-Comté : la première, localisée à Besançon s'occupe du Sud Franche-Comté, la seconde, localisée vers Montbéliard, s'occupe du Nord de la région. Bien que surveillés ponctuellement par analyseur automatisé depuis plus de 10 ans, les 2 réseaux de qualité de l'air ont souhaité, en collaboration avec Météo-France Besançon et le laboratoire ThéMA du CNRS, mieux connaître l'extension spatiale de ce polluant à l'échelle de la région car l'ozone est devenu, depuis quelques années, un véritable problème de santé publique. Bien sûr, les grandes tendances spatiales du phénomène sont connues : abondance en altitude, faibles concentrations en ville. Mais, dans le détail, personne ne s'était vraiment préoccupé d'en connaître les modifications fines, ni d'en cartographier les moindres variations.

La mesure de la pollution a été effectuée en continu à l'aide de 65 capteurs répartis sur le territoire franc-comtois, éloi-

gnés de toute source de production et / ou de destruction massive de l'ozone (axes routiers, industries principalement) et échantillonnant les grands milieux de la région (fig. 1). Cinq campagnes d'une durée d'un mois ont été réalisées de mai à septembre.

L'échantillonnage passif, une méthode simple et fiable

L'échantillonnage passif consiste en

un piégeage du polluant, sans pompage, sur un support adsorbant. L'ozone est transporté, par diffusion moléculaire, à travers une fine grille d'acier vers un filtre imprégné de réactif chimique disposé à l'intérieur d'une capsule plastique. Les échantillons ont été exposés pendant des périodes d'un mois, placés à 3 m de hauteur sous des abris métalliques afin de les protéger des

précipitations. Ils ont été fixés sur différents supports (arbre, poteaux métalliques...), de manière à ce qu'il y ait une bonne circulation de l'air autour de l'échantillon. Lors de la récolte, chaque capsule est récupérée et placée dans un tube plastique, hermétiquement fermé. L'ensemble est ensuite envoyé dans un laboratoire pour analyse. Pour chaque campagne, la température moyenne sur chaque site d'exposition, les heures et dates de pose et de récolte sont indiquées, de manière à calculer le temps d'exposition et la correction de température à effectuer. Le résultat obtenu est une moyenne en ozone sur un mois, exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dans les conditions standard de température et de pression (20°C , 1 013 mbar).

Recours aux analyses spatiales pour modéliser les variations de l'ozone

L'exercice qui consiste à cartographier une information enregistrée en un petit nombre de points particuliers noyés au sein d'un vaste territoire pose un certain nombre de problèmes. Théoriquement, la mesure n'est vraiment représentative que de l'immédiate proximité du point où elle est effectuée. Ainsi, seul est valable le mode de représentation adopté dans la figure 1 où le résultat des mesures se superpose au lieu précis où elles ont été effectuées. Toutefois, ce type de cartographie n'apporte guère plus d'informations que ce que l'on connaissait préalablement du phénomène. Il y a certes plus d'ozone au-dessus de 1 000 m d'altitude qu'en dessous de 500 m, plus dans la campagne qu'en ville, mais nombre d'indices accréditent l'idée que ce schéma simpliste doit

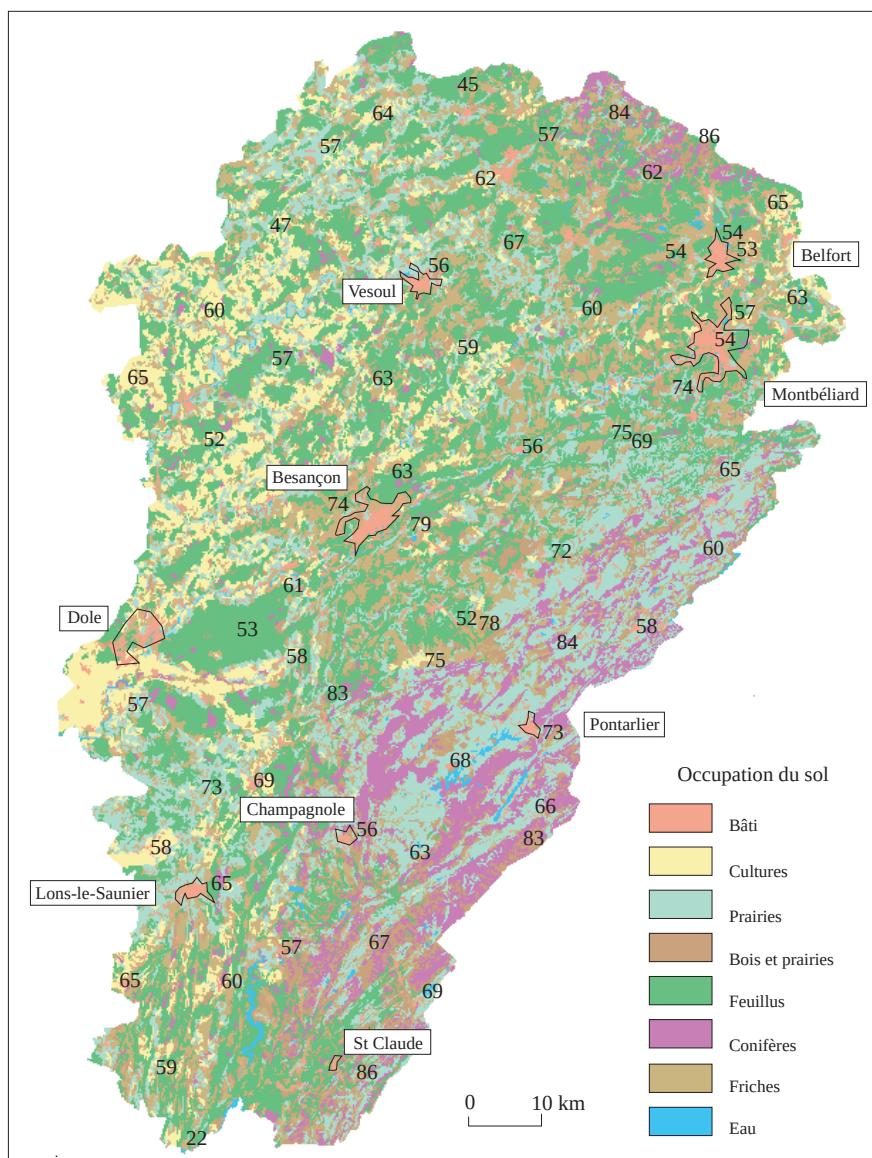


Fig. 1 - Valeur d'ozone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en chacun des 65 sites de surveillance du 2 mai au 3 juin 2002 sur la Franche-Comté

être nuancé : certains secteurs, situés en altitude, présentent des concentrations moyennes d'ozone ($69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aux Rousses par exemple), tandis que d'autres, localisés dans un contexte de plateau, présentent des valeurs élevées ($79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à Montfaucon vers Besançon.

L'analyse spatiale offre la possibilité de dépasser les problèmes qui viennent d'être évoqués. On part du principe que l'information disponible (65 mesures d'ozone localisées dans l'espace franc-comtois) contient tout à la fois des variations aléatoires et des régularités. Par aléatoire, on entend tout ce qui relève de l'erreur ou l'imprécision de la mesure, de la spécificité des lieux ; cette partie de l'information n'est pas modélisable. En revanche, les régularités le sont parfaitement pour peu que l'on ait recours à des outils adaptés qui les mettent en évidence. La variation de l'ozone en fonction de l'altitude semble être une règle d'organisation ; encore faut-il le prouver en mesurant la dépendance de ces deux phénomènes ; d'autres règles d'organisation existent sans doute qu'il nous faut déceler : tels sont les objectifs des analyses que nous allons effectuer avec l'aide de données altimétriques de l'IGN et d'informations issues du satellite américain « Thematic Mapper » à la maille de 50 m.

Nous partons du principe que deux niveaux d'analyse sont nécessaires pour mettre en évidence l'organisation spatiale du phénomène étudié. Avec le premier niveau d'analyse, on montre que l'ozone peut être issu, par advection (déplace-



Photo 1 - Un capteur passif d'ozone (photographie ASQAB)

ment d'une masse d'air dans le sens horizontal), des régions industrielles voisines ; en ce cas, tout ou partie de la Franche-Comté est affecté. On modélise ce type de variation en utilisant des fonctions polynomiales¹ qui fournissent des cartes de tendance à échelle régionale. Le résultat d'un tel calcul est donné dans la figure 2. Les concentrations d'ozone sont conformes au schéma déjà décrit : le sud-est du massif du Jura, crédité de valeurs supérieures à $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, s'oppose au nord-ouest de la Haute-Saône (bassin de la Saône). Le principal intérêt du modèle est qu'il fournit une valeur d'ozone pour tout lieu appartenant à la région : d'une représentation ponctuelle (fig. 1), on passe à une représentation par plages.

Variations à échelle locale

Le second niveau d'analyse permet d'aller encore plus loin. En effet, si l'on compare les valeurs fournies par le modèle en chaque point de mesure et les valeurs issues de la mesure, il apparaît des écarts parfois importants : des variations, à

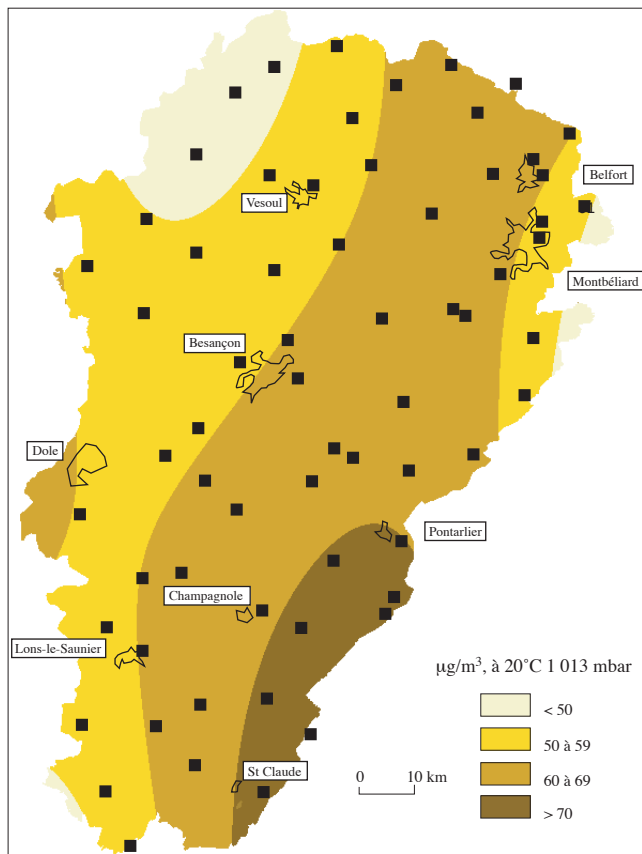


Fig. 2 - Tendances régionales de l'ozone du 2 mai au 3 juin 2002

Tableau 1 - Les six variables de l'environnement proche des points de mesure qui expliquent « le plus » les variations spatiales de l'ozone

Variable	Coefficient de corrélation
valeur de la pente	0,68
altitude	0,64
rugosité topographique	0,51
degré d'encaissement	0,49
orientation des versants	0,42
distance à la crête la plus proche	0,40

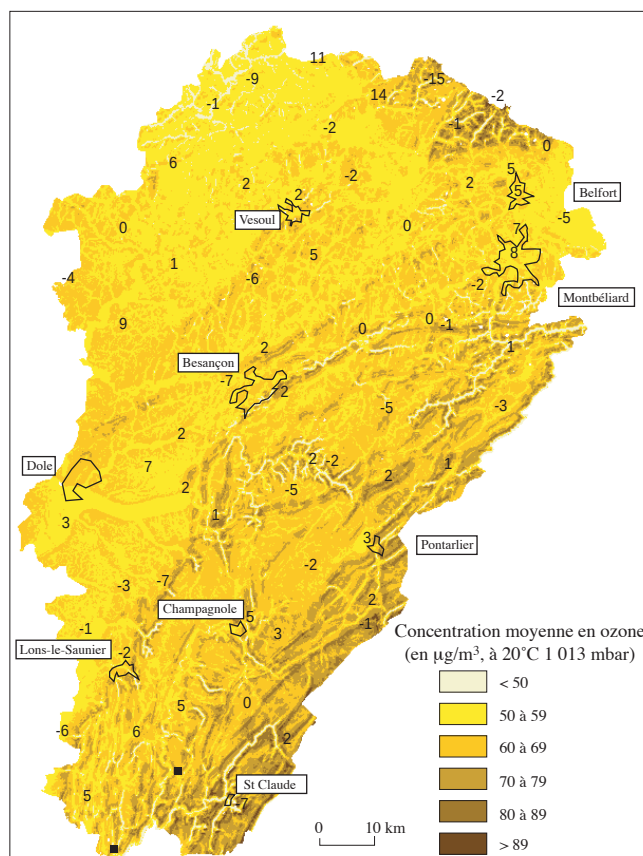
échelle locale, n'ont pas été prises en compte par le modèle régional qui, de fait, n'explique guère plus de 50 % des variations globales de l'ozone. Ce sont ces variations, à échelle locale, que l'on se propose d'expliquer en ayant recours à des variables de l'environnement proche des points de mesure : altitude, rugosité et encaissement topographiques, pente et orientation des versants, rayonnement global théorique, distance à la crête ou au thalweg le plus proche, importance de la biomasse, etc. Au total, 15 variables susceptibles d'expliquer la variation spatiale de l'ozone sont archivées dans un système d'information géographique (SIG).

Un calcul de corrélation linéaire entre les valeurs d'ozone et les 15 variables du SIG montre que la variation spatiale à échelle locale de l'ozone en mai 2002 est fortement dépendante des six variables notées par ordre décroissant d'influence dans le tableau 1.

Les variations à échelle locale de l'ozone sont modélisées en intégrant ces six variables dans le cadre de corrélations multiples qui fournissent le moyen de reconstituer les concentrations en ozone à maille fine sur l'ensemble de la Franche-Comté en tenant compte des plus fines variations de l'environnement. La figure 3 montre le résultat de ce calcul. Des pics d'ozone supérieurs à $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont observés sur tous les sites d'altitude. Les plateaux ne sont pas en reste et des valeurs élevées apparaissent à la partie sommitale de tous les versants orientés au nord-est. Les zones topographiquement contrastées, « rugueuses », favorisent, elles aussi, la présence de fortes concentrations d'ozone. En revanche, toutes les vallées, mais préférentiellement celles qui sont situées au sud-ouest et au nord-ouest (Doubs, Saône, Ognon) sont peu affectées par ce type de pollution.

La spatialisation : une technique imparfaite

Fig. 3 - Concentrations journalières en ozone du 2 mai au 3 juin 2002 ; les valeurs affichées correspondent aux écarts entre les valeurs observées et les valeurs calculées



Les valeurs portées sur la figure 3 indiquent l'écart existant entre les valeurs observées (voir figure 1) et les valeurs calculées. Elles montrent que tous les écarts observés d'une station à l'autre n'ont pas été expliqués : cette partie non expliquée de l'information correspond à l'aléatoire que nous évoquons plus haut. Elle est aussi à mettre en relation avec la présence d'autres facteurs environnementaux explicatifs qui n'ont pas été pris en compte ici. On pense à la distance aux routes ou aux villes les plus proches par exemple. Ainsi, les recherches doivent être poursuivies pour améliorer l'explication de la variation spatiale de l'ozone en intégrant d'autres facteurs explicatifs. Elles doivent aussi être poursuivies pour donner un sens aux relations spatiales que nous avons mises en évidence : la balle est maintenant dans le camp des chimistes et des physiciens de l'atmosphère ■

Note : un polynôme correspond à une somme algébrique de termes entiers. Dans notre cas, la somme des deux termes (latitude et longitude des points de mesure) est exprimée à la puissance trois.