

Préambule :

Cet article a été rédigé en étroite collaboration avec l'équipe d'Air PACA qu'il convient de remercier pour sa disponibilité, son apport scientifique et technique et la perspicacité de ses remarques.

Les épisodes d'ozone en région PACA, le prix sanitaire du soleil

Ozone episodes in PACA region, the sanitary price of sun

Isabelle Roussel

Résumé

La région PACA, de par ses caractéristiques, est favorable à la production de polluants issus de la photochimie dont l'ozone est un traceur. La quasi-totalité de la population (4,4 millions d'habitants) est affectée par le dépassement de la valeur cible pour l'ozone définie pour protéger la santé. Les dépassements des seuils d'information et d'alerte sont fréquents même si la répartition spatio-temporelle de l'ozone est très variable car très dépendante des conditions topographiques et climatologiques locales. Comment, dans ce contexte d'une grande complexité et avec une population peu sensibilisée à cette pollution estivale méconnue, les alertes mises en place ont-elles pu contribuer à améliorer la qualité de l'air et la santé des habitants ? Au cours de ces épisodes d'ozone, les alertes ont pour ambition de réduire ponctuellement les émissions de polluants précurseurs de l'ozone et de prévenir les personnes sensibles et vulnérables pour qu'elles puissent prendre des précautions en sachant que cette information est décernée sur un périmètre administratif qui ne correspond pas toujours à l'exposition des individus concernés. Dans cette région, la sensibilisation de la population aux méfaits sanitaires de l'ozone est essentielle. Les alertes, déclarées par le préfet, encouragent, depuis 2010, les réductions de vitesse sur les grands axes, alors qu'il faut surmonter la difficulté liée à l'éventuelle déconnexion spatiale entre les zones émettrices et celles qui sont polluées. Cependant, réduire les émissions des précurseurs de l'ozone relève d'actions de long terme que les PPA essaient de promouvoir. Les dispositifs préfectoraux, fortement médiatisés, contribuent à l'acculturation de la population de la région de plus en plus sensible aux effets sanitaires de l'ozone.

Mots-clés :

région PACA, ozone, pointe de pollution, alertes.

Abstract

Because of its climatic characteristics, the PACA region offers conditions conducive to the production of ozone. Nearly all the population (4,4 million inhabitants) is affected by ozone levels exceeding the target values set up to protect health. Levels exceeding the information and alert target values are thus frequent even if the spatiotemporal distribution of ozone is highly variable because very much depending on local topographic and climatological conditions. During these episodes, it is necessary to inform vulnerable people so that they can protect themselves but this information is released in an administrative area which does not correspond to the real exposure of the people concerned. In the region, the population awareness to ozone sanitary impacts is essential. The alerts, announced by the prefect, encourage, since 2012, speed reductions on main roads. Indeed, reducing the emissions of ozone precursors depends on long-term actions which the APP (Atmosphere Protection Plan) tries to promote. The prefectural, strongly publicized devices, have contributed to the acculturation of the population, increasingly aware of ozone health effects.

Keywords:

Southern France, ozone, air pollution peak, alerts.

Introduction

L'héliotropisme des vacanciers est un phénomène bien connu ; ils sont attirés par le nombre d'heures d'insolation nettement plus élevé dans le Sud de la France (figure 1).

La migration vers le Sud des retraités est aussi un élément d'inégalité économique territoriale avéré. Cette dynamique s'accompagne d'un nombre record de soignants et d'établissements de soin dans les départements du Sud. Si le soleil et la luminosité concourent indéniablement au bien-être des populations, ils ne sont pas sans danger. Les méfaits des rayonnements UV sont bien connus, et le soleil est responsable de la formation de gaz photo-oxydants dont l'ozone est un indicateur. Outre le fait qu'ils peuvent avoir un effet sur le réchauffement climatique en tant que gaz à effet de serre de courte durée de vie, ces gaz ont un pouvoir irritant qui peut affecter la peau, les yeux et l'appareil respiratoire en déclenchant des crises d'asthme et contribuent ainsi à l'occurrence de différentes pathologies respiratoires. Sans oublier les effets de ces polluants photochimiques sur la végétation.

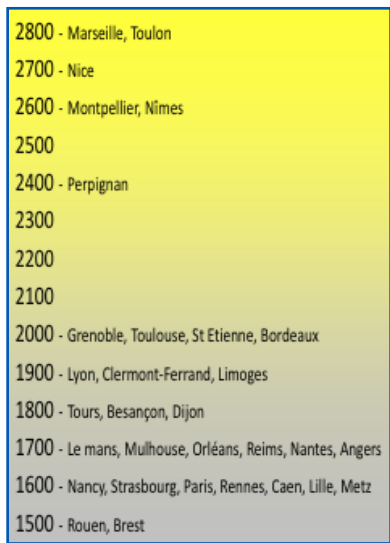


Figure 1.

Nombre d'heures d'ensoleillement pour différentes villes françaises (source : Météo-France).
Number of sunshine hours for various French cities.

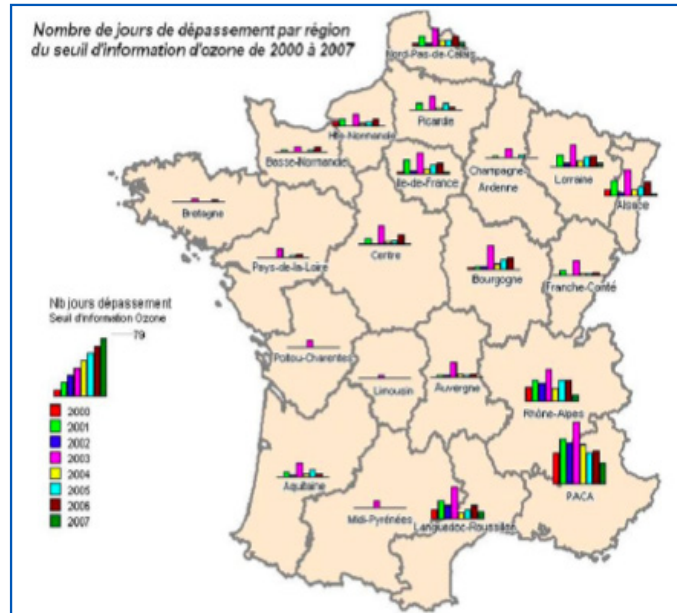


Figure 2.

Nombre de jours de dépassement du seuil d'information de l'ozone dans les régions françaises entre 2000 et 2007. 78 jours en PACA en 2003 contre 6 en Bretagne cette même année (source : ADEME).

Number of days when the ozone information level is exceeded in French regions between 2000 and 2007. 78 days in PACA region in 2003 against 6 in Brittany during this same year.

La région PACA présente donc une spécificité en matière d'alertes ozone (figure 2) qui sont les plus difficiles à mettre en place dans la mesure où elles sont contre-intuitives par rapport aux bénéfices escomptés des belles journées ensoleillées. En 2001, ESCOMPTE (Expérience sur Site pour Contraindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Émissions), campagne scientifique de grande ampleur, a réuni 80 équipes françaises et étrangères avec des moyens considérables pour répondre aux interrogations posées par les niveaux importants d'ozone observés dans cette région. Cette étude a mis en évidence la complexité de la formation de l'ozone et l'ambivalence de ce polluant qui, à la fois présente une large extension régionale et, en même temps, peut subir des variations locales fortes en raison du poids de phénomènes locaux. Elle s'est penchée sur la prévision des pics d'ozone en s'interrogeant sur les possibilités d'action pour éviter leur occurrence. Ce polluant, invisible ou parfois matérialisé par une couleur orangée de l'atmosphère, présente des effets nuisibles à des doses élevées, et il convient de prévenir les personnes sensibles pour qu'elles prennent des précautions lors de

ces épisodes, comme l'indique l'arrêté du 20 août 2014¹. L'autre fonction de l'alerte, qui consiste à écrêter les pointes, est difficile à mettre en place pour ce polluant secondaire, tant la linéarité entre les émissions et les niveaux d'ozone observés est déconcertante et délocalisée dans le temps et dans l'espace.

L'ozone est une spécificité de la région PACA dont il est difficile de s'affranchir. Est-ce que le dispositif d'alerte mis en place par la LAURE, il y a 17 ans, a pu contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air ? Est-ce que la prise de conscience par la population de la nocivité de l'ozone a progressé, favorisant ainsi la nécessaire implication des populations ?

Les caractéristiques de la région favorisant l'ozone

Les niveaux d'ozone dans la région PACA sont élevés et préoccupants, ils correspondent à de fortes émissions de précurseurs et sont très inégalement répartis dans le temps et dans l'espace.

Des niveaux élevés d'ozone

Dans la région PACA, compte tenu des températures et de l'ensoleillement (figure 1), la pollution par l'ozone est reconnue depuis longtemps. La région a mis en place le premier analyseur d'ozone dès que la technique de mesure par les UV a été validée : une première station de mesure a été installée à Marseille, rue Paradis, en 1987, puis une seconde au plan d'Aups, en 1989. La pollution par l'ozone « chronique » ou de fond est élevée, elle correspond à des niveaux de polluants auxquels la population est régulièrement exposée et ne respecte pas la valeur cible européenne pour la protection de la santé : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures ne devant pas, réglementairement, être dépassée plus de 25 jours par an. Dans la région, 90 % du territoire, soit 4,4 millions d'habitants, enregistrent des niveaux régulièrement supérieurs à cette valeur (figure 3).

L'ozone, polluant secondaire, contrairement aux polluants primaires émis directement par l'activité humaine comme les oxydes d'azote ou certaines particules, recouvre de vastes régions ; néanmoins, les niveaux d'ozone varient à échelle

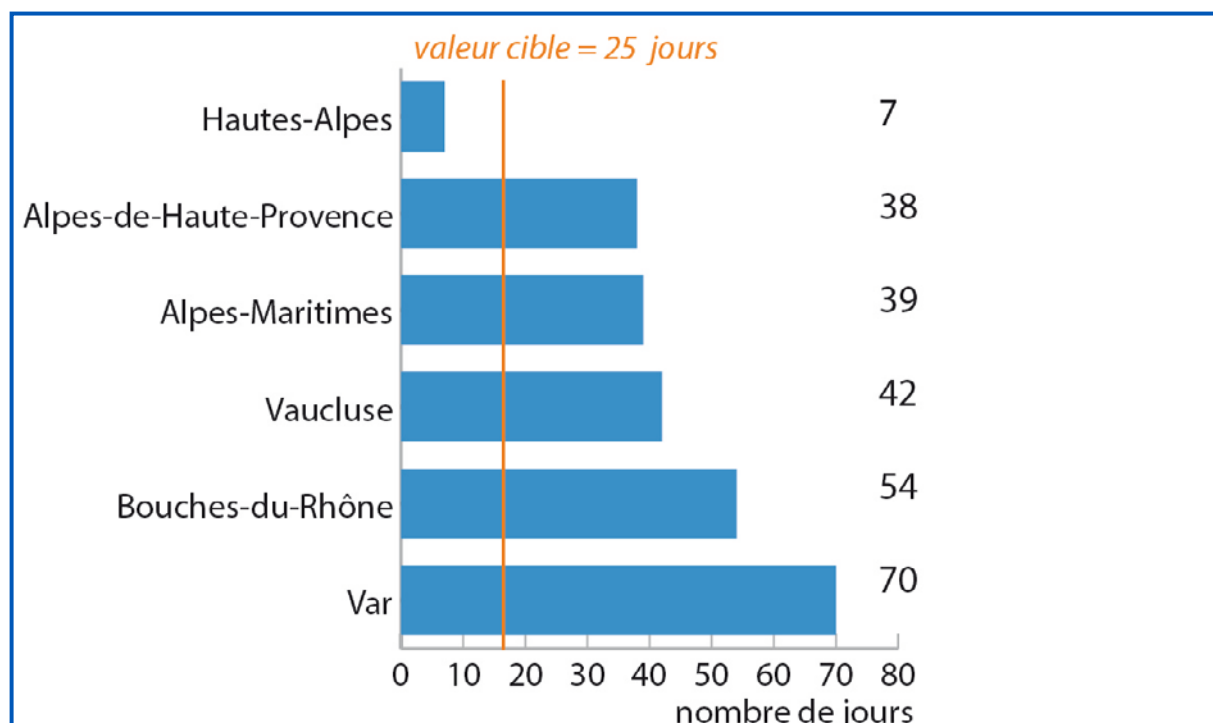


Figure 3.

Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de l'ozone, par département en 2014, année qui n'a pas été particulièrement chaude (source : Air PACA).

Number of days of exceeded ozone value targets, by department in 2014, year which was not particularly hot.

fine et l'exposition à l'ozone peut être très variable, d'autant que l'ozone a tendance à diminuer à l'intérieur des maisons au sein desquelles il peut se transformer ou se déposer. Il est aussi consommé par le dioxyde d'azote dans les cœurs de ville où il y sera donc moins concentré.

La figure 4 indique que l'ozone, parmi les autres polluants, reste un polluant majeur sur la région : certes il y a une tendance à la hausse des niveaux de fond en ozone, alors que l'on constate une baisse des niveaux de fond de PM et NO₂. Cependant, les moyennes annuelles du NO₂ et des PM sont encore proches des valeurs réglementaires. Par ailleurs, on constate aussi une diminution de la pollution chronique de fond et du nombre de jours avec dépassement des seuils réglementaires en ozone (cf. ci-dessous).

La tendance à la hausse est liée en partie à la persistance de situations anticycloniques avec de belles journées ensoleillées ou à des advections de masses d'air maritimes chargées d'ozone. En revanche, le mistral chasse ce polluant, les épisodes sont très sensibles à l'occurrence de ce

vent du nord.

Si l'héliotropisme des régions méditerranéennes favorise la formation de polluants photo-oxydants, d'autres facteurs se conjuguent pour expliquer les niveaux élevés d'ozone dans la région PACA.

De fortes émissions de précurseurs

C'est une région densément peuplée, (troisième région française) qui comptait 4 935 576 habitants au recensement de 2012. Compte tenu d'une topographie tourmentée, la population est concentrée le long du littoral qui regroupe également les principaux axes de communication. Cette bande côtière est aussi la première destination touristique de la région et parmi les plus fréquentées du bassin méditerranéen.

Néanmoins, cette population temporaire ne représente qu'une petite proportion des habitants, mais les touristes augmentent les déplacements motorisés qui ont lieu sur des axes contraints,

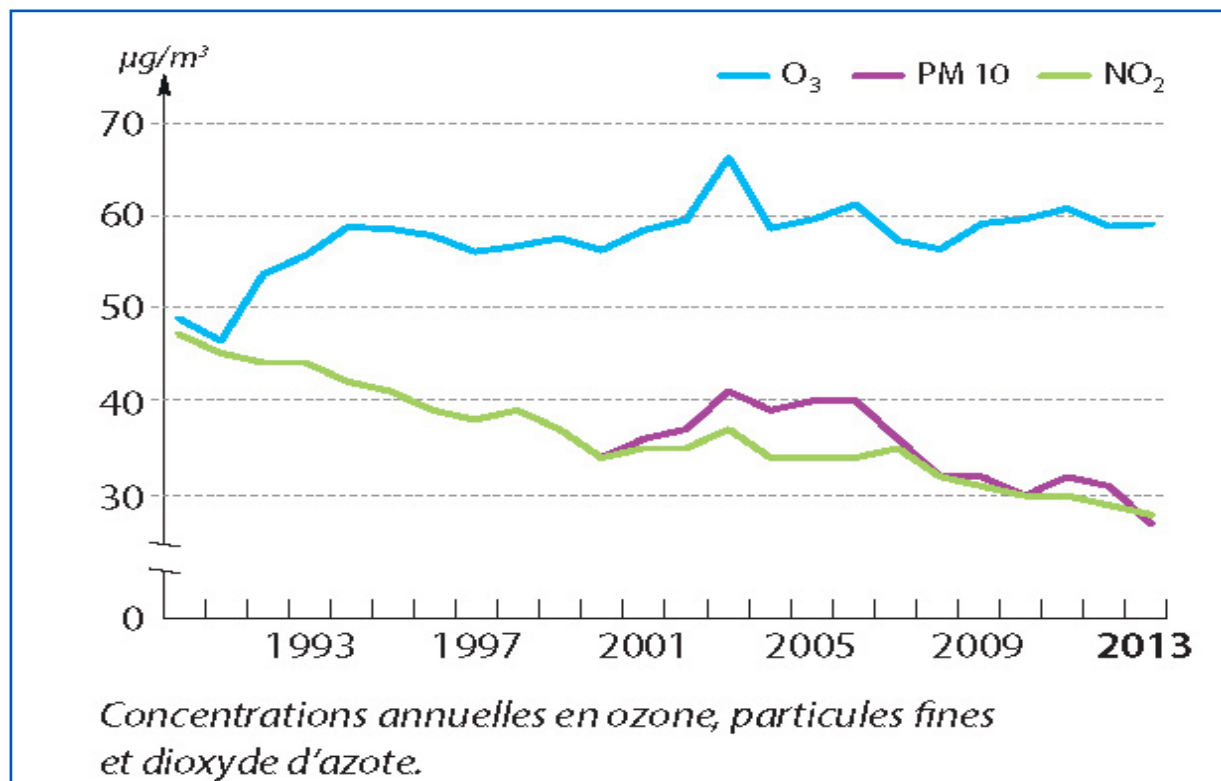


Figure 4.

Évolution des concentrations moyennes annuelles des différents polluants dans la région PACA (source : Air PACA).

Evolution of the annual average concentrations of various pollutants in the PACA region.

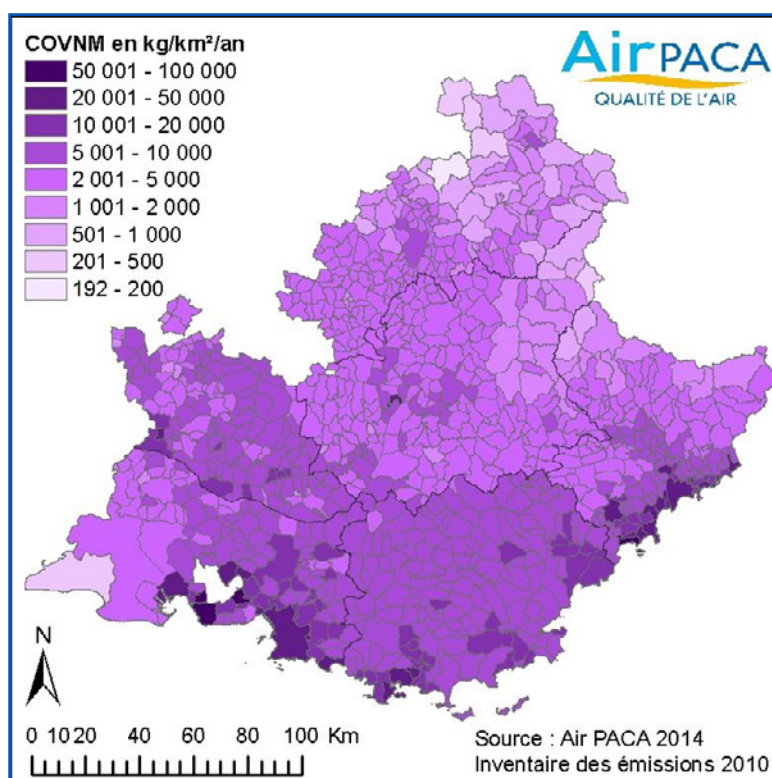


Figure 5.

Répartition des émissions annuelles de COVNM par commune : étude ESCOMPTE (source : Air PACA).

Distribution of the annual emissions of VOCs by municipality.

situés en majeure partie dans les plaines côtières, là où la quasi-totalité des habitants permanents vivent et se déplacent.

L'ozone, polluant secondaire, se forme en présence de gaz précurseurs, principalement des COV (Composés Organiques Volatils), d'origine anthropique ou biogénique et des oxydes d'azote dont les émissions sont abondantes dans la région. À la faveur de l'étude ESCOMPTE, un cadastre des émissions a été réalisé et régulièrement mis à jour depuis. Les rejets sont affectés à une commune donnée, ce qui permet une cartographie détaillée (figures 5 et 6). La végétation méditerranéenne, et en particulier les pins, émettent des COV biogéniques tels que les terpènes, ce qui explique la présence de ces gaz dans les zones rurales (figure 5). Mais ce sont surtout les activités industrielles qui apportent la plus grande contribution à ces émissions de COV anthropiques, abondantes dans les zones urbaines et sur la frange littorale.

Les émissions de NOx (figure 6) sont davantage concentrées autour des voies de communication (pour rappel, les oxydes d'azote

sont considérés comme des traceurs de la pollution automobile). Compte tenu de la topographie, les voies de communication sont également situées le long du littoral qui concentre la population (figure 7). Elles sont particulièrement fréquentées, non pas seulement en raison des migrations estivales mais aussi parce que la région a longtemps souffert d'un déficit en transports en commun, ne répondant pas suffisamment aux besoins de la population, ce qui a induit un usage systématique du véhicule individuel. Ainsi, la part des sources mobiles dans les rejets de polluants atmosphériques est prépondérante, en particulier pour les oxydes d'azote.

Au rôle des infrastructures terrestres viennent s'ajouter les émissions liées au transport maritime qui contribue à générer de l'ozone en mer, qui peut également provenir de l'intérieur des terres, poussé par les vents. En PACA, selon le CITEPA² (Centre Interprofessionnel d'Étude de la Pollution de l'Air), entre 1994 et 2000, les émissions ont diminué de 48 % pour le SO₂ (66 % en France sur la même période), de 2 % pour les NOx (22 % en France) et de 37 % pour le CO. Les zones urbaines et les rejets industriels contribuent également à renforcer ces émissions.

La figure 8 permet d'identifier les différentes sources des précurseurs qui contribuent à la formation de l'ozone. La présence de précurseurs est un facteur important pour expliquer la dissymétrie entre l'Est et l'Ouest du littoral (figure 8) : le pays niçois est beaucoup moins affecté par l'ozone que la région des Bouches-du-Rhône parce que les apports de précurseurs venus de Gênes et de la plaine padane et l'ensemble de ceux qui sont apportés par la mer sont moins importants que ceux émis par la zone industrielle-portuaire de Marseille.

L'ozone issu des émissions liées à la végétation définit un bruit de fond d'ozone auquel vient s'ajouter l'ozone issu des émissions industrielles, urbaines et maritimes. Ces émissions, entraînées par des vents locaux, peuvent déplacer les zones polluées assez loin des sources de précur-

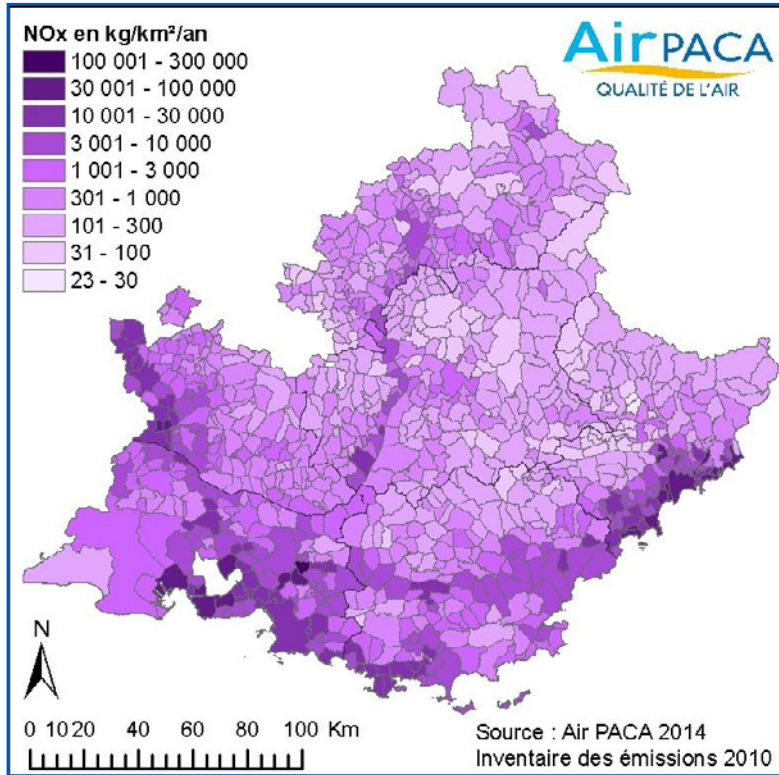


Figure 6.
Répartition des émissions
annuelles de NOx par commune :
étude ESCOMPTE
(source : Air PACA).
Distribution of the annual emis-
sions of NOx by municipality :
Escompte study

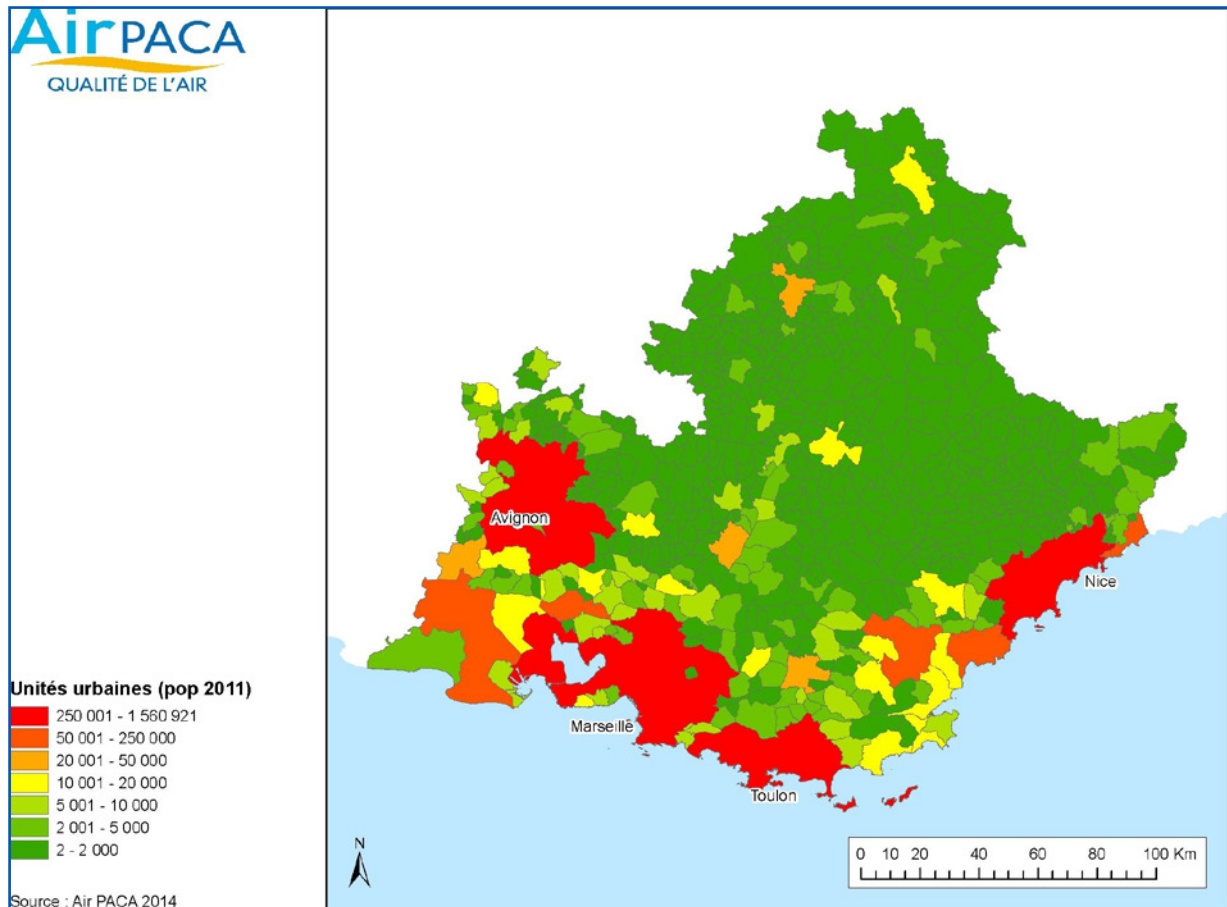


Figure 7.

La répartition des unités urbaines selon leur taille dans la région PACA en 2011 (source : Air PACA).
The distribution of urban units according to their size in the PACA region.

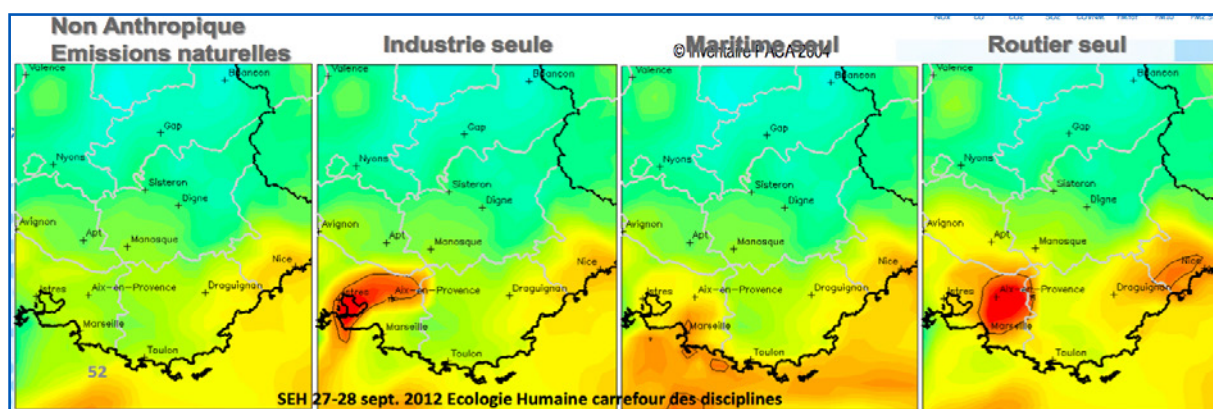


Figure 8.

Simulation des concentrations d'ozone en PACA, selon différentes sources d'émissions contribuant à la formation de l'ozone dans la région PACA (source : Air PACA).

Simulation of the various sources contributing to the ozone formation in the PACA région.

seurs. La pollution par l'ozone est un phénomène « régional » : les concentrations, et notamment les pointes, se constatent sur des zones de plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres. La région est en fait soumise à deux principales zones émettrices de gaz précurseurs : la zone de l'Étang de Berre renforcée par l'impact de l'agglomération Aix-Marseille, et celle du nord-ouest de l'Italie. Cette pollution peut parcourir de grandes distances : les polluants rejetés autour de l'Étang de Berre ont fréquemment un impact sur la qualité de l'air à Toulon, Avignon ou Manosque. La pollution padane est capable de passer les crêtes frontalières pour se joindre aux polluants azurés ; et inversement, pour la pollution littorale de la zone urbaine de Nice qui peut rejoindre l'Italie en traversant le Mercantour sous l'effet des brises diurnes, comme l'ont montré les mesures de terrain faites par Carrega *et al.* (2010).

L'étude Escompte et le développement d'autres recherches ont beaucoup contribué à améliorer la connaissance de l'ozone et de ses précurseurs ainsi que sa répartition spatio-temporelle qui est d'une grande complexité.

Les variations spatiales de l'ozone et leur complexité

Actuellement, Air PACA gère 39 stations qui mesurent l'ozone en continu, mais la modélisation est essentielle pour spatialiser la diffusion de l'ozone et mieux cerner quelles seront les valeurs locales en fonction des conditions météorologiques à fine échelle. Or la direction des vents, les brises de mer, les émissions locales, la

topoclimatologie se combinent pour donner une grande variabilité spatiale aux niveaux d'ozone et rendre la modélisation très délicate (Michelot *et al.*, 2015).

À travers la cartographie de cet échantillon de stations représentées sur la figure 9, on voit apparaître la diversité des situations locales, le rythme diurne n'a pas la même ampleur et le niveau atteint par la pointe diurne peut être différent selon les contextes locaux.

L'hétérogénéité de la répartition spatiale de l'ozone.

La grande variété des situations topoclimatiques se traduit par une grande disparité des teneurs en ozone. L'information apportée par chacune des 39 stations de mesure gérées par Air PACA est ponctuelle ; la modélisation de l'extension spatiale de ce polluant suppose une connaissance fine des mécanismes, initiée par l'étude ESCOMPTE qui a réalisé la carte présentée ci-dessous (figure 9). Elle montre l'évolution diurne classique de l'ozone entre les 23 et 26 juin 2001 en fonction des facteurs météorologiques. Le rythme nyctéméral de l'ozone est très net, l'ozone se forme aux heures chaudes de la journée et est détruit la nuit. Cependant, dans la région marseillaise représentée sur cette carte, l'évolution diurne de l'ozone est loin d'être homogène, et même l'atténuation classique de l'amplitude diurne avec l'altitude serait à nuancer. Ce serait plutôt la zone littorale plus urbanisée qui présenterait des valeurs extrêmes plus atténuées alors que l'amplitude diurne est plus exacerbée dans l'arrière-pays.

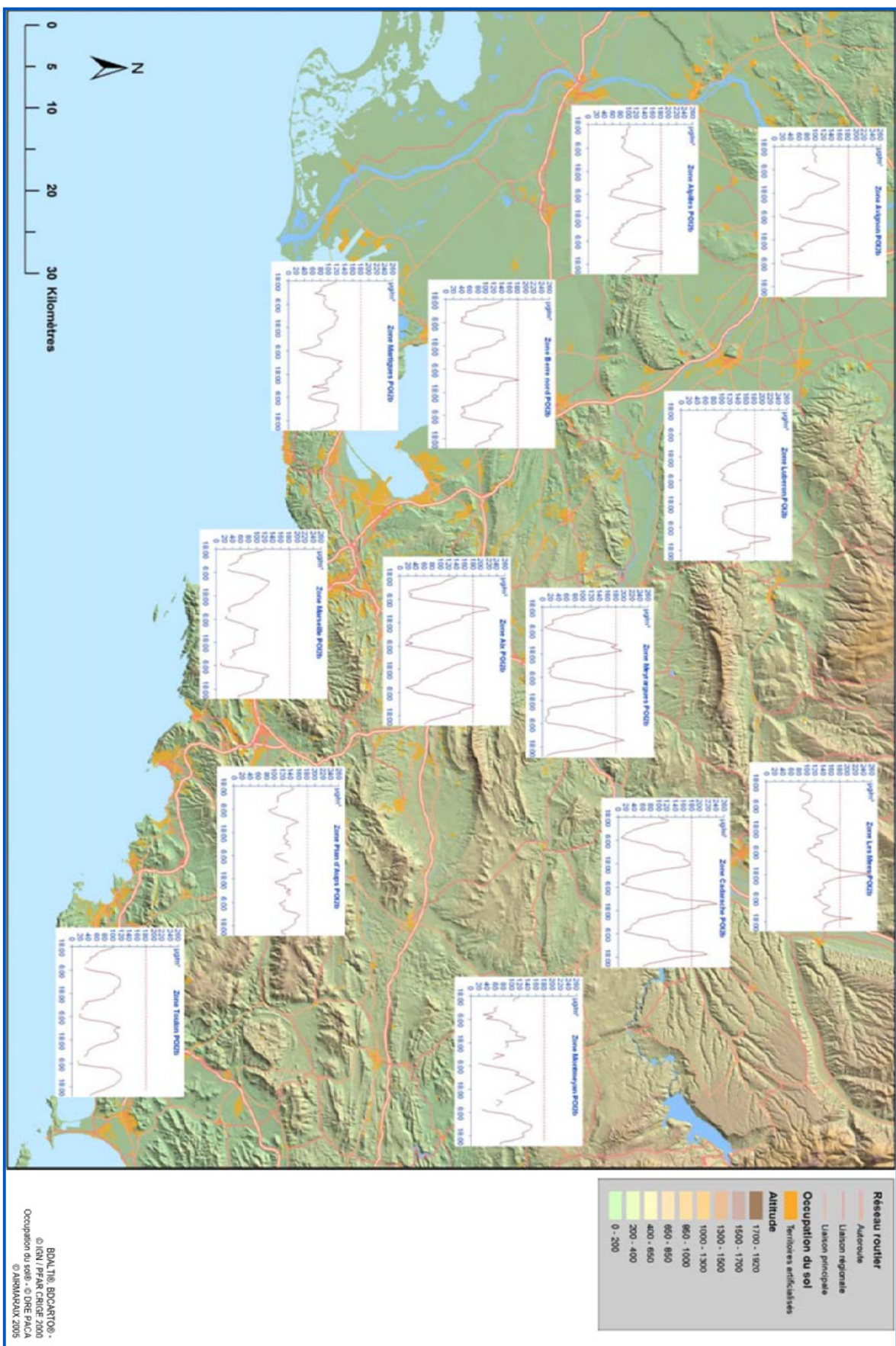


Figure 9. Carte établie par l'étude Escompte indiquant l'évolution horaire des concentrations en ozone du 23 au 26 juin 2001 (source : Air PACA).
Map realized by the Escompte study indicating the hourly evolution of ozone concentrations from June (2001) the 23rd until the 26th.

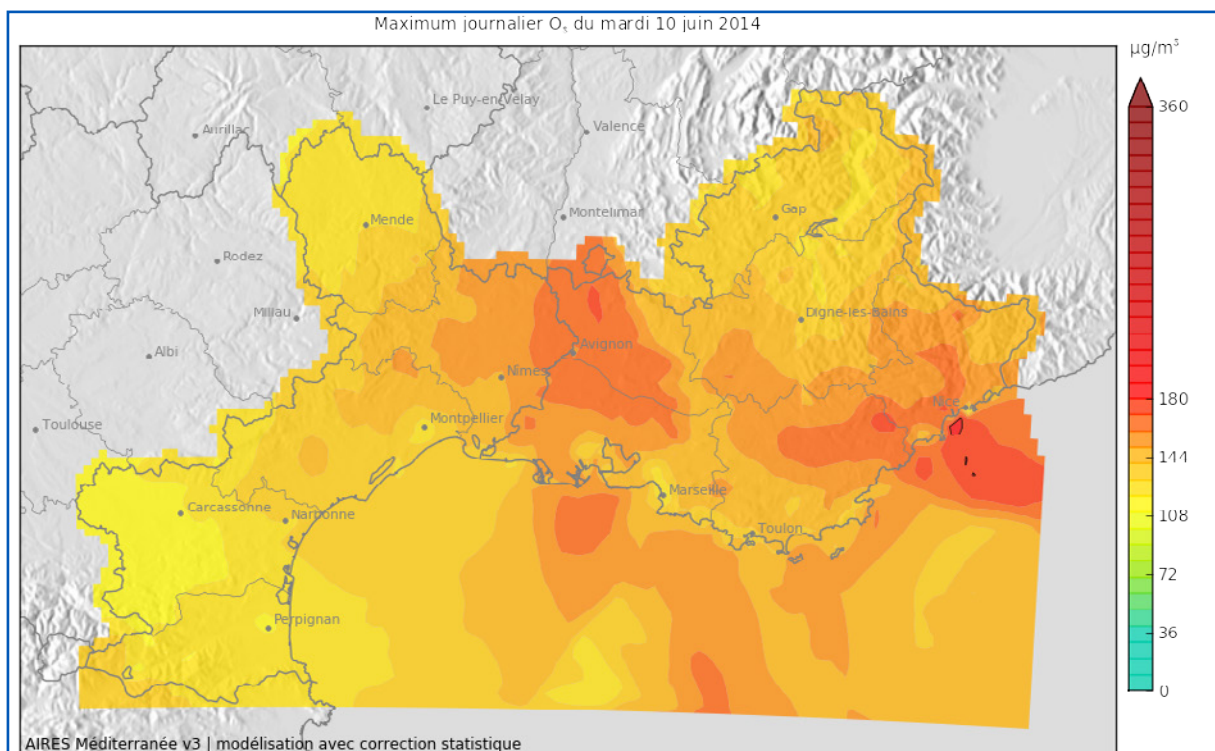


Figure 10.

Estimation de la répartition spatiale de l'ozone, le 11 juin 2014 sur les régions PACA et Languedoc-Roussillon (source : Air PACA).

Estimation of ozone spatial distribution on June 11th, 2014 on PACA and Languedoc-Roussillon regions.

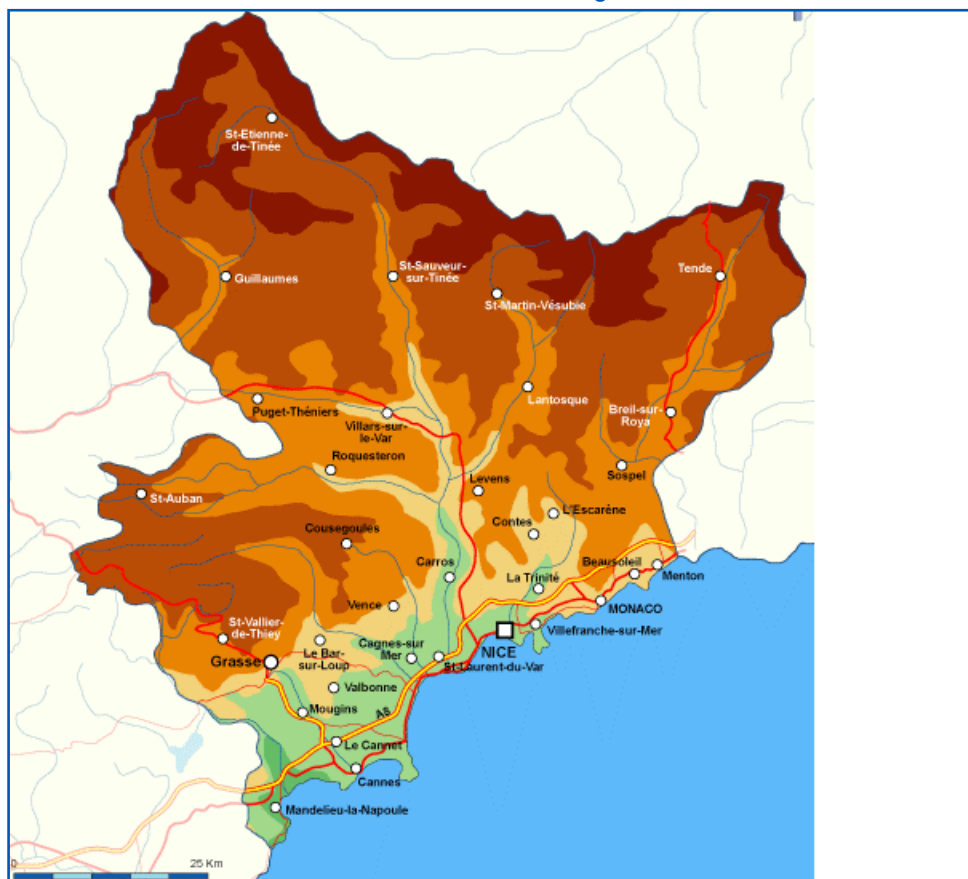
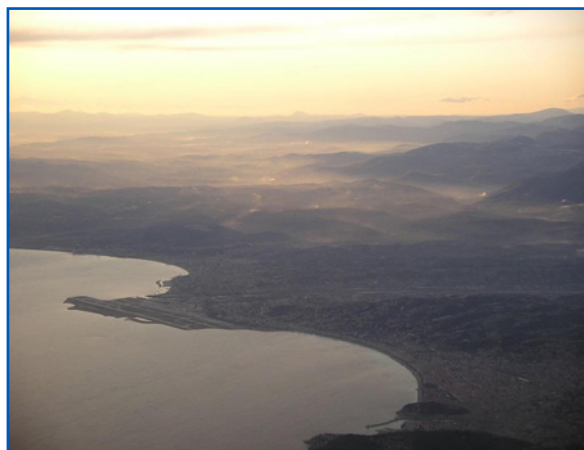


Figure 11.

L'importance des contrastes topoclimatologiques sur la dispersion des polluants (photographie de la page suivante : Carrega) (source : Michelot, 2014).

The importance of the topoclimatologic contrasts on the dispersal of pollutants.



La figure 10 fait état de la répartition spatiale de l'ozone le 11 juin 2014. Elle est le fruit d'une modélisation qui doit être sans cesse améliorée pour prendre en compte les phénomènes contrôlant la formation de l'ozone. Or ceux-ci interviennent à différentes échelles, ce qui complique le choix des modèles à utiliser (Michelot et al., 2015). La modélisation est essentielle pour spatialiser la diffusion de l'ozone et mieux cerner quelles seront les valeurs locales en fonction des conditions micrométéorologiques.

Les contrastes climatiques locaux apparaissent bien sur la figure 11 sur laquelle la plaine littorale est recouverte par une couche de brume bloquée par les différents niveaux d'inversions qui s'opposent à la diffusion des polluants, en altitude (des particules liés essentiellement aux brûlages effectués cet après-midi-là). En revanche, les collines de l'arrière-pays se situent au-dessus de ce niveau d'inversion, elles ne sont plus touchées par les mêmes polluants. En été, Les particules peuvent être bloquées sous le niveau d'inversion, tandis que des niveaux d'ozone élevés peuvent être relevés dans ces zones appartenant à la troposphère libre.

Or le climat en espace littoral et montagneux est très sensible aux phénomènes locaux que sont les brises thermiques dont l'occurrence est en phase avec les journées les plus stables, favorisant l'accumulation des polluants dans les basses couches. Ces vents thermiques, renforcés par le relief qui encourage les ascendances diurnes et les phénomènes subsidents la nuit (brises catabatiques), évoluent selon les heures de la journée (figure 12).

Le mécanisme des brises est essentiel pour comprendre la répartition spatiale de l'ozone étudiée dans le détail, pour les Alpes-Maritimes, par N. Martin dans sa thèse (2009).

La variation spatiale de l'ozone en PACA contrôlée par le mécanisme des brises de mer

Comme nous l'avons déjà mentionné, les émissions sont concentrées sur le littoral qui regroupe la majeure partie de la population (figures 5-6-7). Or l'ozone se forme au cours des belles journées ensoleillées d'été, précisément celles qui sont favorables au cycle diurne des brises de mer. Celles-ci, dès les premières heures chaudes de la journée, soufflent vers l'intérieur en entraînant avec elles les précurseurs émis à proximité de la frange côtière. Ainsi, la répartition des polluants à une échelle fine, dans cette région, est liée à la topoclimatologie, comme l'ont montré Michelot (2014), Carrega (2010) et Martin (2009).

Les niveaux d'ozone sont plus faibles le long du littoral puisque les précurseurs sont entraînés vers l'intérieur par la brise de mer et que, dans cette zone urbanisée, l'ozone est davantage consommé. En revanche, l'arrière-pays est très vulnérable, comme le montre depuis de longues années, la station du plan d'Aups qui, située en altitude, ne présente pas de diminution d'ozone pendant la nuit puisqu'elle se situe dans la troposphère libre, au-dessus du niveau d'inversion. En outre, N. Martin (2009) a mis en évidence le caractère pollué de l'air sur la bande côtière puisque les émissions locales de précurseurs sont élevées, mais aussi en raison du jeu des brises qui ramènent vers le littoral de l'air évacué par les brises de terre ou des pollutions exogènes.

Lorsque plusieurs jours de pics d'ozone se succèdent, les niveaux de pollution ont tendance à augmenter de jour en jour. En effet, ces pics ont lieu lorsqu'un régime de brise s'établit (conditions anticycloniques). Ces brises soufflent de la mer vers la terre dans la journée, et de la terre vers la mer la nuit. Cette « balance des brises » déplace une même masse d'air selon un mouvement pendulaire tandis qu'elle se recharge en polluants à chaque passage au-dessus des zones émettrices de pollution (figure 13) :

- Jour 1, journée : les masses d'air sont déplacées depuis les principaux pôles émetteurs de pollution vers l'arrière-pays. Les polluants de ces masses d'air se transforment en polluants photochimiques (dont l'ozone) sous l'effet du soleil.

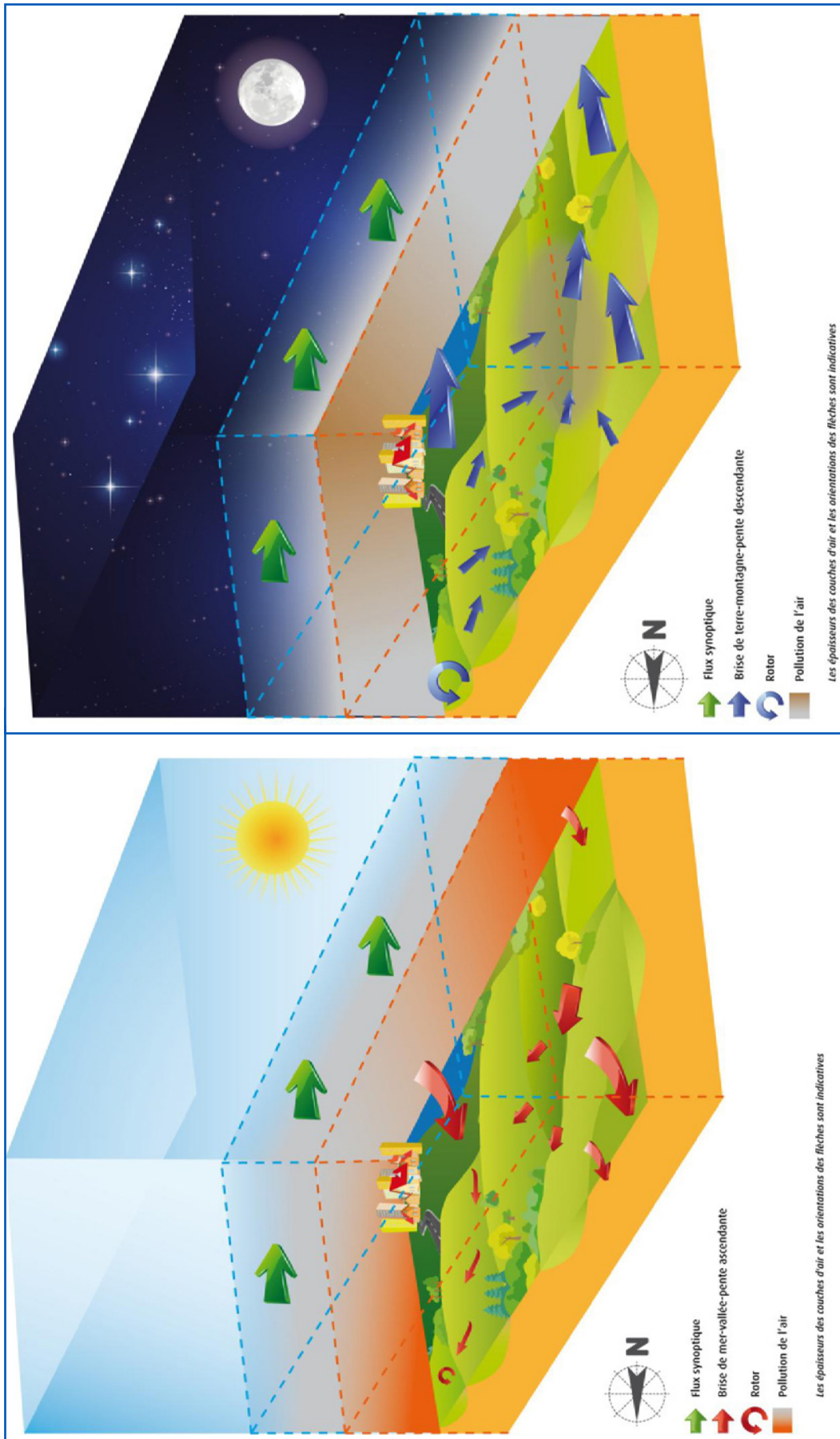


Figure 12.
 Le cycle diurne des brises locales et de la pollution dans un espace littoral montagneux (source : Michelot, 2014).
 The diurnal cycle of the local breezes and pollution in a littoral region with contrasted relief.

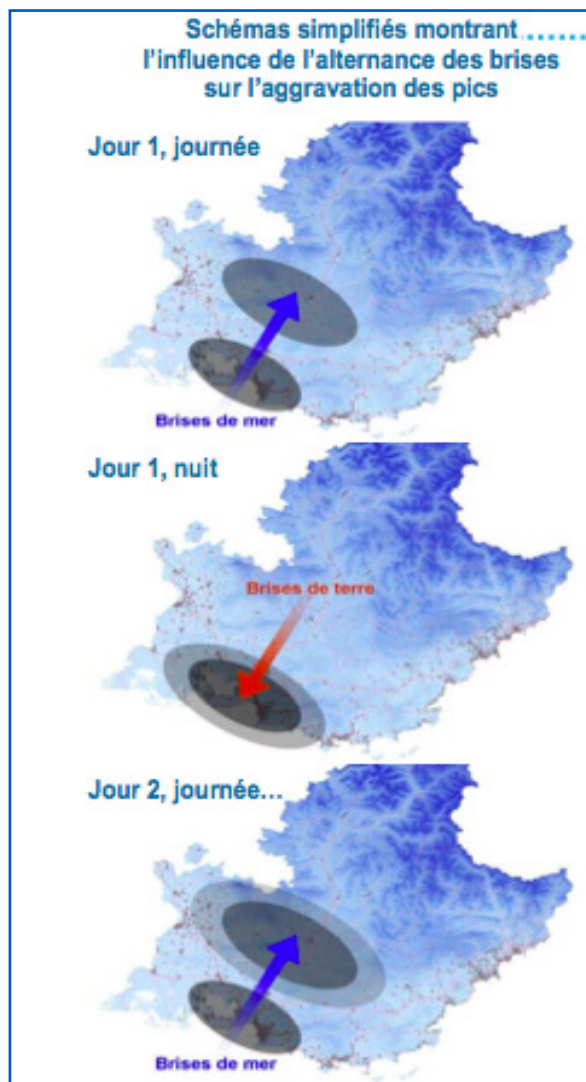


Figure 13.

Schéma simplifié montrant l'alternance des brises et l'aggravation des pics (source : Air PACA).

Simplified plan showing the alternation of breezes and worsening of peaks.

- Jour 1, nuit : les brises de terre transportent les masses d'air déjà polluées vers la côte, où elles se rechargent en polluants en passant à nouveau sur les pôles émetteurs de pollution. La masse d'air résultante s'accumule toute la nuit au-dessus de la côte et de la mer, dans les basses couches de l'atmosphère (lorsque l'inversion thermique est présente). La nuit, les polluants photochimiques se dégradent et se transforment en d'autres polluants oxydants.

- Jour 2, journée : cette même masse d'air, alimentée par deux jours de pollution et plus polluée qu'au début, part à nouveau vers les terres.

Si les conditions météorologiques sont toujours réunies, la pollution photochimique peut alors être plus intense, avec des niveaux d'ozone plus élevés.

Ce cycle quotidien des brises thermiques se conjugue avec celui de la formation de l'ozone. Les collines de l'arrière-pays sont donc affectées par deux mécanismes qui renforcent la teneur en ozone observée dans l'arrière-pays : d'une part, ils sont affectés par l'ozone qui se trouve dans la troposphère libre et, d'autre part, les gaz précurseurs émis par les zones urbaines denses du littoral sont entraînés vers l'arrière-pays où ils contribuent à la production d'ozone local au cours des heures chaudes de la journée. La répartition spatiale des niveaux d'ozone indiquée sur la figure 10 indique la complexité de la répartition spatiale de l'ozone le 11 juin 2014 et le contraste entre le littoral et l'arrière-pays.

L'importance des mécanismes responsables de la formation d'ozone sur l'ensemble de la région explique, dans la région PACA, la préoccupation ancienne pour prévenir les personnes sensibles de se prémunir contre les méfaits de ce polluant.

Compte tenu de cette sensibilité à l'ozone, la région a mis en place des dispositifs d'alerte

La gestion des épisodes de pollution par l'ozone est antérieure à la LAURE puisque, dès 1990, la directive du 7 juin a accordé aux citoyens le droit à l'information en matière d'environnement, et la directive n° 92/72/CE « concernant la pollution de l'air par l'ozone » du 21 septembre 1992 a rendu obligatoire la diffusion des résultats des mesures. Dans cette directive, le Conseil européen définit de nouveaux concepts normatifs compatibles avec la gestion d'un épisode aigu de pollution, et pose les bases d'une information d'alerte obligatoire de la population. Ainsi l'alinéa c de l'article 6 pose que « Les États membres prennent les mesures appropriées pour veiller à ce que des informations sur les dépassements effectifs ou prévus du seuil d'alerte soient fournies dans les meilleurs délais aux organismes de santé et à la population. »

La loi sur l'air (LAURE) pose comme préambule que « chacun a le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé » ; cette loi cadre reconnaît à tout citoyen sur l'ensemble du territoire le droit à l'information sur la qualité de l'air et ses effets sanitaires et environnementaux. L'État est garant de ce droit, de la fiabilité de l'information et de sa diffusion selon l'article 4. La loi précise les modalités de l'alerte et de la communication. Cette loi généralise les notions de seuil d'information de la population et de seuil d'alerte et, depuis 1996, un certain nombre d'arrêtés ont précisé quelle était la définition des alertes dans le temps (définition des seuils) et dans l'espace (zones d'alerte).

La définition des seuils. Pour l'ozone, les seuils de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont une réalité sanitaire expérimentale. Le seuil de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ était utilisé depuis 1998 pour décréter une procédure d'information et de recommandation. Cependant, au moment de la canicule de 2003, sur 66 jours déclarés au niveau de l'information en région PACA, seulement 13 ont donné lieu à des alertes qui n'ont pas déclenché de mesures d'urgence efficaces et spectaculaires. Pour tirer parti de cette expérience, l'arrêté inter-préfectoral du 3 juin 2004, relatif à la procédure d'information et d'alerte du public, met en œuvre des mesures d'urgence graduées en cas de pointe de pollution atmosphérique à l'ozone dans cette région. Le seuil d'alerte est abaissé à $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce dernier seuil est conservé pour les cas extrêmes qui méritent la gratuité des transports en commun ou la mise en place d'un dispositif de circulation alternée. Le décret du 21 octobre 2010 transpose en droit français la directive européenne de 2008. Il reprend les objectifs définis pour l'ozone.

Mais c'est surtout à travers l'arrêté ministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant que les mesures envisagées sont mieux adaptées à l'ozone. En effet, cet arrêté mentionne spécifiquement les dispositions concernant les épisodes d'ozone, les conduites à tenir, mais aussi la définition des caractéristiques spatio-temporelles qui ne reposent plus uniquement sur des dépassements de seuils constatés par station de mesure mais sur l'estimation par modélisation du nombre de personnes ou de la surface du territoire exposé à un épisode d'ozone (Michelot, 2015).

Une information tardive sur constat ne permet pas d'anticiper l'information de la population sensible et ne permet pas non plus aux mesures d'urgence de se mettre en place à l'avance ; de plus ces dernières seraient caduques si l'épisode ne se prolongeait pas le lendemain. L'arrêté de mars 2014 (Michelot, 2015) change fondamentalement ce dispositif puisque les mesures peuvent être mises en place par anticipation à partir de modèles de prévision. Plutôt que de se référer à des informations ponctuelles à partir des analyseurs, la définition adoptée utilise la modélisation qui permet d'introduire des critères d'exposition des populations et des territoires. Cet arrêté propose des dispositions spéciales pour les épisodes liés à l'ozone. En raison des spécificités de ce polluant facilement transporté sur de longues distances, la définition des zones d'alerte est élargie et peut dépasser, le cas échéant, les limites du département, ce qui suppose une négociation entre les préfets des départements voisins. L'arrêté insiste sur la prévision rendue possible par les modèles prévisionnels développés pour que les personnes les plus sensibles aient le temps de prendre leurs précautions, ou que des manifestations sportives puissent être différées.

L'information

En effet, la diffusion de l'information s'impose, à la fois à l'occasion des alertes mais aussi durant chaque été, puisque l'association entre les vacances, le soleil, la chaleur et la pollution souvent invisible ou légèrement perceptible à travers une lumière rougeâtre, n'est pas évidente, elle est même contre-intuitive. Certes, les milieux avertis connaissent depuis longtemps les méfaits de l'ozone et sa dangerosité en termes de santé publique, mais pour les habitants la perception du lien entre le beau temps ensoleillé et chaud de l'été, le risque sanitaire encouru et la restriction dans l'utilisation de leur voiture était très énigmatique. Les épisodes de pollution étaient, dans l'imaginaire, plutôt associés au smog londonien, au brouillard et à l'hiver.

C'est Airmaraix³, aujourd'hui Air PACA, qui, dès les années 1996-1997, a eu la charge de gérer, pour le compte des trois autres associations de la région, le serveur assurant la diffusion des messages d'information et d'alerte, initialement émis sous forme de fax. Ces messages étaient diffusés dès que les seuils étaient dépassés sur 2 capteurs d'une zone. Les Bouches-du-Rhône n'ont pas suivi la même règle : l'information de recommandation est déclenchée

Polluant	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte	Valeurs cibles
Ozone (O ³)	<p>Seuil de protection de la santé, pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 120 µg/m³ pendant une année civile.</p> <p>Seuil de protection de la végétation, AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m³.h</p>	<p>En moyenne horaire : 180 µg/m³.</p>	<p>Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire : 240 µg/m³ sur 1 heure</p> <p>Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence, en moyenne horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> 1^{er} seuil : 240 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. 2^e seuil : 300 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. 3^e seuil : 360 µg/m³. 	<p>Seuil de protection de la santé : 120 µg/m³ pour le max journalier de la moyenne sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans. Cette valeur cible est appliquée depuis 2010.</p> <p>Seuil de protection de la végétation : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m³.h en moyenne calculée sur 5 ans. Cette valeur cible est appliquée depuis 2010.</p>

Tableau 1.

Récapitulatif des principaux seuils adoptés pour la gestion de l’ozone (source : Airparif).
[Summary of key thresholds adopted for the management of ozone.](#)

dès que le seuil des 180 µg/m³ est franchi sur un seul capteur. Ces messages étaient adressés à un certain nombre de correspondants réglementaires : maires, administrations, médias... Les destinataires de ces messages sont considérés comme des « relais d’information privilégiés », qui devaient donc en principe répercuter cette information à l’aval vers d’autres destinataires « secondaires ». Les DDASS étaient des inter-

locuteurs privilégiés ayant la charge de relayer l’information au plus grand nombre d’établissements sanitaires.

L’arrêté du 11 juin 2003 pose les points que doit contenir l’information donnée par le préfet au public en cas de dépassement ou de risque de dépassement des seuils de recommandation ou des seuils d’alerte. Les messages sanitaires

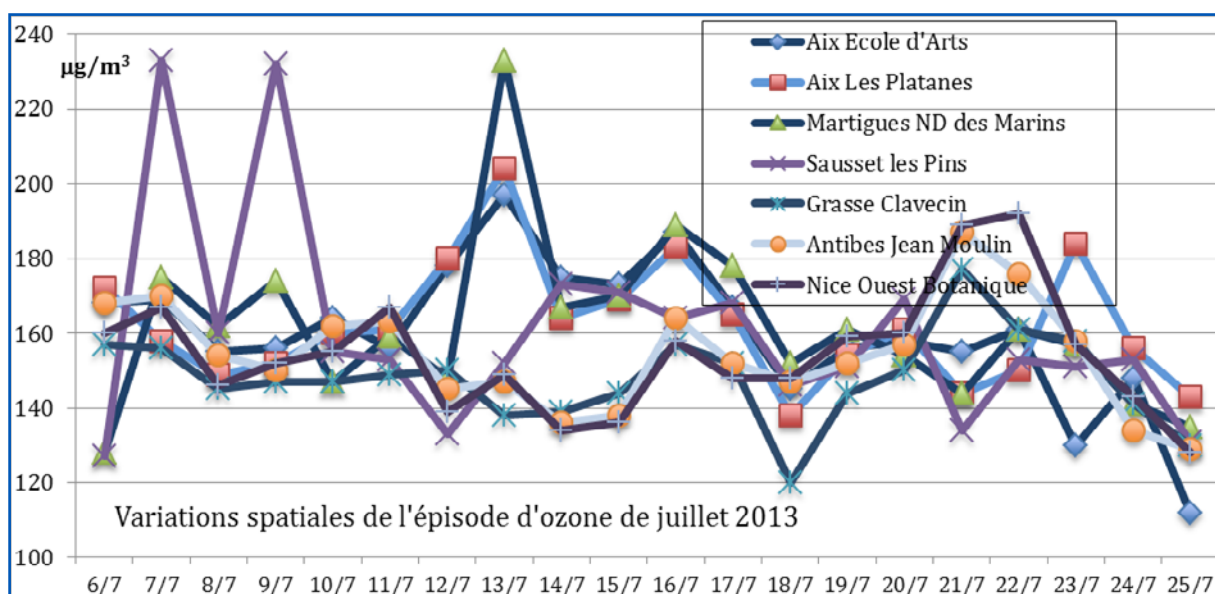


Figure 14.

Les variations spatiales du maximum horaire journalier de l'ozone dans différentes stations de la région PACA en juillet 2013 (source : Air PACA).

The spatial variations of the daily hourly maximum of the ozone in various stations of the PACA region in July, 2013.

à transmettre seront précisés par l'arrêté d'août 2014⁴ (cf. ci-dessous) en fonction des déclarations du HCSP⁵ (Haut Conseil de la Santé Publique) (B. Nader, 2015).

Cependant, si l'ensemble de la population est globalement concernée par ces épisodes d'ozone, il est difficile de définir quelle peut être l'exposition réelle de chaque individu en raison à la fois de son emploi du temps personnel mais aussi du fait que les conditions topoclimatiques très variées se traduisent par une grande hétérogénéité des niveaux d'ozone enregistrés dans la région (cf. ci-dessus). L'information doit donc être prise comme une indication très générale et non comme l'occurrence d'un risque sanitaire individuel avéré, puisque les niveaux d'exposition à l'ozone sont très fluctuants dans l'espace et dans le temps.

La figure 14 montre les différences de niveaux d'ozone que l'on peut relever même sur des stations aussi proches que Sausset-les-Pins ou Martigues. Les stations des Alpes-Maritimes sont plus tardivement atteintes par l'épisode mais, à cette opposition générale entre les Bouches-du-Rhône et les Alpes-Maritimes, on peut aussi déceler des nuances entre les stations urbaines (en vert) et périurbaines (en bleu), celles de l'intérieur ou du littoral.

Donc les messages sanitaires censés être déployés au cours des jours présentant des niveaux élevés d'ozone sont difficiles à « faire passer » aux cibles visées, c'est-à-dire les personnes sensibles ou vulnérables qui peuvent être concernées, au cours d'une même journée, par des niveaux d'ozone très différents au sein d'une même unité administrative.

L'information doit-elle porter sur les risques liés à l'ozone ou sur ceux liés à la canicule qui accompagne souvent les épisodes d'ozone ? En 2003, l'impact sanitaire de l'ozone a été masqué, au moins médiatiquement, par l'effet « canicule » qui a été paradoxalement moins marqué en PACA. Cette maîtrise locale du risque n'est-elle pas le signe d'une meilleure prévention liée à la fréquence plus élevée des canicules dans la région ? Des mesures de prévention en matière de canicule avaient été mises en place très tôt, dès 1983, donc l'impact de la chaleur en 2003 n'a pas été très important dans la région.

Ce souci de prévention se traduit par l'importance de l'information à dispenser non seulement au cours des épisodes mais, de manière préventive, chaque été.

Niveau 1 (Risques de dépassement du seuil de 240 µg/m ³ /h sur 3 heures consécutives)
Niveau 1 renforcé (Constat ou risques aggravé de dépassement du seuil de 240 µg/m ³ /h sur 3 heures consécutives)
Niveau 2 (Constat ou risques de dépassement du seuil de 300 µg/m ³ /3h)
Niveau 3 (Constat ou risques de dépassement du seuil de 360 µg/m ³ /h)

Tableau 2.

Les différents niveaux adoptés pour des mesures d'urgence graduées (source : Air PACA).

[Chart showing different targets used for gradual urgent measures.](#)

Un autre objectif des alertes consiste à sensibiliser la population sur la nécessité d'intervenir pour limiter les émissions des précurseurs de l'ozone.

Les mesures d'urgence

Pour l'ozone, depuis la promulgation de la LAURE, l'efficacité d'une limitation temporaire de la vitesse sur les principaux axes routiers est très décriée. En outre, un certain nombre de médecins ont incriminé, surtout après l'exemple de l'été 2003, l'excès de mortalité plus aux températures élevées qu'à l'ozone. À partir de 2004, l'occurrence d'un dépassement du seuil de 180 mg/m³ sur une ou deux stations peut se traduire par une exhortation préfectorale pour diminuer la vitesse de 30 km/h sur les grands axes. Puis, en 2010, cette obligation, compte tenu des critiques, s'est transformée en recommandation tandis que les mesures préconisées étaient graduées (figure 15).

Néanmoins, seules des mesures pérennes peuvent diminuer le bruit de fond des précurseurs de l'ozone. C'est pourquoi, dans le département des Bouches-du-Rhône, les dispositions

prises dans le cadre du PPA, voté le 17 mai 2013, réduisent la vitesse de 110 à 90 km/h de façon permanente sur les 5 principaux tronçons autoroutiers du département, ce qui rend caduques les mesures d'urgence, sur le trafic routier, préconisées dans ce département.

Les arrêtés récents ainsi que l'instruction technique de septembre 2014 vont dans le sens d'une adaptation des dispositifs au contexte local : « Les mesures d'urgence à déclencher en cas de dépassement du seuil d'alerte sont à adapter, dans la formulation comme dans les modalités de mise en œuvre, au contexte local, en tenant compte, si possible, de leur éventuel impact socio-économique. Vous prendrez donc soin de prévoir des modalités de mise en œuvre dont les impacts seront le plus possible proportionnés à la gravité de l'épisode de pollution afin de limiter l'impact sur le tissu socio-économique des territoires tout en répondant aux impératifs sanitaires ». Ces nouvelles instructions suggèrent, en outre, une meilleure coordination entre les départements et les régions en cas d'épisode recouvrant une large zone, comme c'est souvent le cas pour l'ozone. Elles permettent également de bien dimensionner les actions pour ne pas mettre en

	mesures d'urgence pour trafic automobile et collectivités	mesure d'urgence pour industriels
Niveau 1	<ul style="list-style-type: none"> • report de ses déplacements ou utilisation préférentielle des transports en commun • réduction de vitesse de 30 km/h, avec un minimum de 70 km/h* 	<p>pour les gros émetteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • stabilité des procédés • report des activités émettrices de COV
Niveau 1 renforcé	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de certains travaux de peinture et d'entretien quand ceux-ci nécessitent des moteurs thermiques 	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de chargement de COV • arrêt des torches • report des opérations de maintenance
Niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de transit poids-lourds dans les agglomérations • interdiction des compétitions de sports mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> • non redémarrage des installations arrêtées
Niveau 3	<ul style="list-style-type: none"> • action plus contraignante : possibilité de circulation alternée 	<ul style="list-style-type: none"> • baisse d'activités pour réduire la production de COV et NOx

* Mesure pérennisée sur les tronçons de la région le nécessitant

Figure 15.

Les mesures d'urgence décrites par Air PACA⁶ et diffusées sur le site de la DREAL.

[Urgent measures described by Air PACA and available on DREAL website.](#)

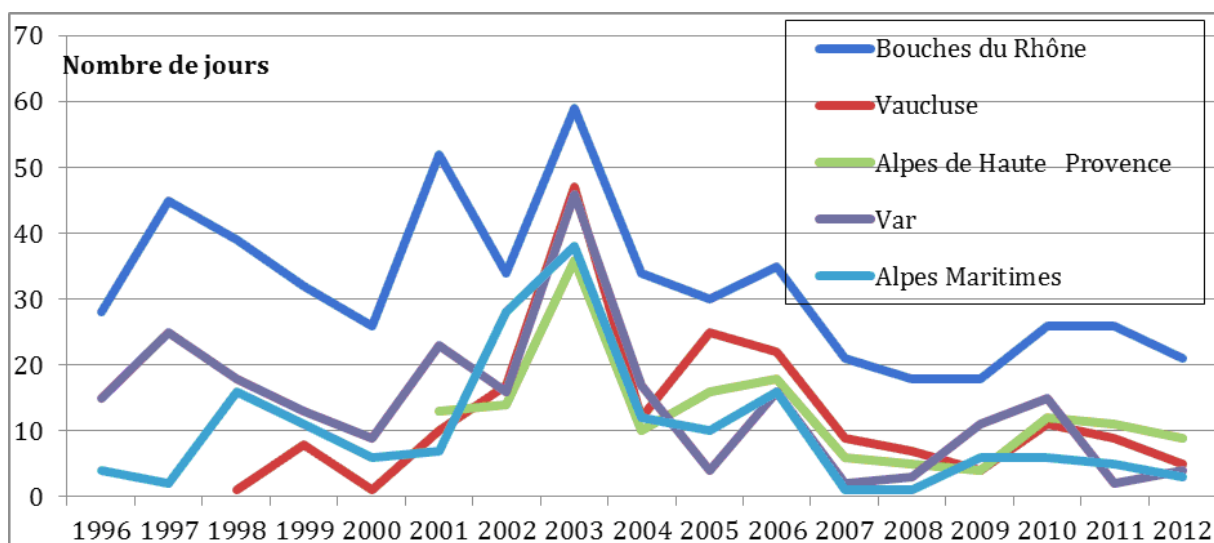


Figure 16.

Nombre de jours de dépassement des seuils d'information par département (source : Air PACA).
 Number of days of exceeded information level by departments.

œuvre des actions locales disproportionnées par rapport aux événements.

d'actions permettant de faciliter cette mise en œuvre dans des délais très courts ».

Ce nouvel encadrement réglementaire des épisodes d'ozone insiste sur la préparation des mesures d'urgence pour garantir leur efficacité⁷ : « Pour garantir la mise en œuvre efficace des mesures d'urgence et leur acceptabilité, il convient d'assurer au préalable, en dehors des épisodes de pollutions, une large concertation avec les parties prenantes, et de définir des plans

On peut constater avec les termes de ce nouvel arrêté l'importance des acquis depuis la LAURE et les progrès effectués dans la connaissance des mécanismes de la pollution. Pour autant, au fil de la vingtaine d'années écoulées, peut-on déceler des améliorations effectives dans la qualité de l'air ?

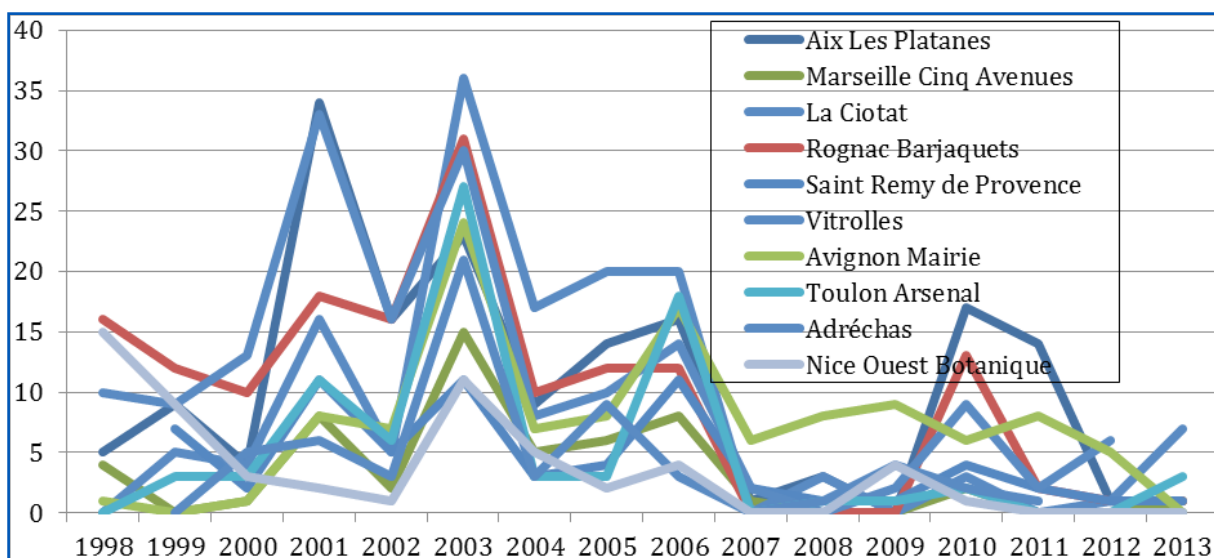


Figure 17.

Nombre de jours de dépassement du seuil d'information d'ozone par an pour quelques stations de la région PACA (source : Air PACA).
 Number of days of overtaking of information level for some stations of PACA region.

L'évolution interannuelle des épisodes d'ozone

La succession interannuelle des épisodes de pollution dépend essentiellement des variations de la météorologie, mais il semble qu'il soit possible de distinguer une légère baisse du nombre des jours présentant un dépassement du maximum horaire journalier de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figure 16 semble traduire cette tendance.

Sur les dix dernières années, 2008 et 2014 sont les années les plus épargnées par les épisodes d'ozone. L'année caniculaire 2003 a battu les records. C'est le département des Bouches-du-Rhône qui, chaque année, a été le plus touché, en raison de l'influence des précurseurs issus de la zone industrielle de l'étang de Berre. La différence entre les stations urbaines et périurbaines n'est pas très discriminante compte tenu du caractère très densément urbanisé de la région (figure 17). Les stations urbaines de Marseille et d'Avignon (en vert) ont une fréquence de dépassements qui n'est que très légèrement inférieure à celle qu'enregistrent les stations périurbaines (en bleu), majoritaires sur ce graphique. Seules des stations d'altitude, plus éloignées des foyers de peuplement, accusent une différence plus sensible. L'Est varois, selon N. Michelot (2014), se situe dans une zone de transition climatique puisque le mistral souffle de façon plus soutenue à l'ouest de la région, compte tenu de la position classique des minimums dépressionnaires en Méditerranée ; ainsi, en marge du flux synoptique, le littoral jusqu'à Menton reste sous un calme relatif, favorable aux jeux des brises ther-

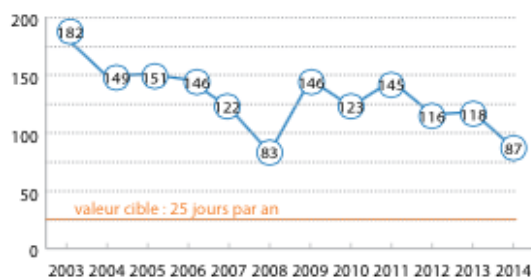


Figure 18.

Nombre de jours avec au moins un dépassement de la valeur cible européenne en PACA enregistré chaque année (Source : Air PACA).

Number of days with at least an overtaking of the European target value in PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) recorded every year.

miques. Ces mécanismes contribuent à expliquer le découplage de l'évolution des niveaux d'ozone entre les stations occidentales et orientales de la région.

Au moment de la canicule de 2003, l'ozone a atteint des niveaux « record », qui ne se sont pas reproduits depuis, en dépit de l'augmentation de la fréquence annoncée de ce type d'épisode en fonction de l'évolution prévue du climat. Effectivement, l'occurrence d'épisodes d'ozone est liée aux variations du climat d'une année à l'autre. Cependant, on observe une tendance à la baisse, aussi bien en ce qui concerne la fréquence des dépassements de la valeur cible que des seuils d'information ou d'alerte.

Quel que soit le département, la tendance est la même (figure 18). Ce tableau montre la grande variabilité des épisodes dans le temps et dans l'espace et le contrôle de ces épisodes par les situations météorologiques. Néanmoins, la diminution de la fréquence de ces épisodes en dépit de la hausse des températures annoncée peut-elle signifier l'importance de la maîtrise des émissions ? Peut-on également incriminer cette diminution à l'efficacité des dispositifs d'information et d'alerte mis en place de manière récurrente depuis une vingtaine d'années ?

Le dispositif d'alerte a-t-il pu avoir une influence sur cette évolution ?

Les alertes, accompagnées d'un fort retentissement dans la presse, ont contribué à sensibiliser les habitants de la région et ceci d'autant plus que la médiatisation des méfaits de l'ozone s'est déroulée sur le temps long, indépendamment des épisodes. Air PACA a mis en place une vraie stratégie de communication⁸ relayée par la préfecture via le site de la DREAL PACA⁹.

Les connaissances sur les méfaits de l'ozone se sont précisées au fil des ans. On a pu démontrer que la mesure de l'ozone est un indicateur d'un ensemble de polluants photo-oxydants ; que tous ont des effets irritants et néfastes sur l'appareil respiratoire. Les investigations sur les précurseurs de l'ozone se sont aussi multipliées, dénonçant le rôle des oxydes d'azote, des gaz d'échappement et des composés organiques volatils émis par les industries.

Cette acculturation progressive sur les méfaits sanitaires de l'ozone a pu motiver les industriels et les automobilistes pour limiter les émissions

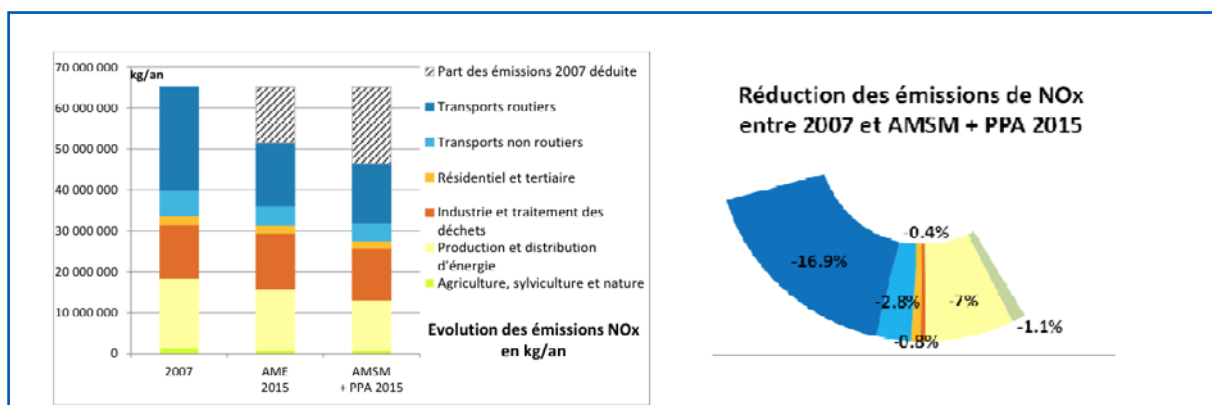


Figure 19.

Les réductions d'émissions préconisées par le dispositif du PPA des Bouches-du-Rhône du 13 mai 2013 (source : Air PACA).

The reductions of emissions, recommended by the PPA of Bouches-du-Rhône of May 13th, 2013.

des précurseurs. Effectivement, au cours des années récentes, les agglomérations ont fait de gros efforts pour s'équiper en transports en commun, et les motoristes ont contribué à faire baisser les émissions unitaires des véhicules. En revanche, la pollution de fond en ozone continue à augmenter légèrement, peut-être en raison de la baisse des oxydes d'azote dans les villes et sur les stations de fond ?

Il est toutefois difficile d'évaluer l'impact direct des mesures d'urgence dans la mesure où l'évolution de la situation météorologique contrôle directement ces épisodes de pollution élevée. Comme pour l'ensemble des pics de pollution, les mesures d'urgence sont surtout efficaces si elles débouchent sur la pérennisation d'un certain nombre de dispositifs permettant la diminution du trafic motorisé et la limitation de la vitesse. En imposant assez régulièrement une limitation de vitesse à 90 km/h sur les autoroutes de la région, sans doute les automobilistes prennent-ils l'habitude d'adopter une conduite plus douce. Air PACA estime qu'en réduisant la vitesse de 110 à 90 km/h sur un certain nombre de tronçons périurbains, on éviterait la production de 12 tonnes d'oxydes d'azote et d'une tonne de PM_{10} par an (figure 19). Ainsi, à compter du 1^{er} juillet 2012, le préfet des Bouches-du-Rhône a décidé de réduire la vitesse sur les cinq principaux tronçons autoroutiers périurbains du département. Le PPA des Bouches-du-Rhône, adopté le 17 mai 2013, préconise un certain nombre de mesures pérennes pour le secteur des transports routiers et non routiers qui devraient se traduire, sur la zone PPA, par une diminution de 4,1 % des émissions totales (tous secteurs confondus) des PM_{10} , 4,3 % des émissions totales (tous secteurs

confondus) des $PM_{2,5}$, et 5,8 % des émissions totales (tous secteurs confondus) des NOx (figure 19). L'adoption de limitations de vitesse pérennes peut donc être un facteur de diminution de la fréquence des niveaux d'ozone. Néanmoins, d'autres facteurs peuvent intervenir : La crise économique actuelle et le mouvement de désindustrialisation contribuent également à la diminution des COV produits par l'industrie. L'évolution du parc automobile a également une influence sur les émissions de NOx.

Dans ce contexte, la recommandation de réduction de vitesse de 30 km/h en cas de pic de pollution à l'ozone est suspendue sur l'ensemble du département des Bouches-du-Rhône puisque les mesures pérennes sont plus efficaces.

Dans le contexte plurifactoriel de la production d'ozone, aucun des leviers d'action ne doit être négligé même si le poids des facteurs météorologiques reste essentiel. En effet, compte tenu de l'évolution du climat et de l'occurrence régulière de périodes de fortes chaleurs estivales, l'apparition d'épisodes d'ozone reste à craindre en dépit des efforts effectués sur la réduction des émissions de précurseurs.

Conclusion

Les alertes ozone dont la région PACA est régulièrement le théâtre n'ont jamais été établies dans la continuité des alertes industrielles ; elles se sont développées et institutionnalisées sur la constatation partagée des méfaits sanitaires de l'ozone, polluant complexe et quasiment invisible. Il a fallu du temps pour vaincre le scepti-

cisme des habitants vis-à-vis de cette pollution liée au beau temps chaud et ensoleillé de l'été. Cette lente acculturation s'est effectuée sous l'influence des efforts de communication effectués par les AASQA regroupées au sein d'Air PACA, et relayés par les services de l'État. Certes, les épisodes de pollution ont permis un relais médiatique régulier mais c'est le travail de fond, les efforts de communication réguliers qui ont permis de faire prendre conscience des effets de la pollution et des possibilités offertes pour limiter les émissions.

La communication sur l'ozone, que ce soit au moment des pics de pollution ou au fil des jours, permet de découvrir la complexité du phénomène, son caractère invisible et le secret des sources, souvent diverses et éloignées. En montrant l'importance des effets sanitaires et la complexité de la prévention, les pics d'ozone sont loin de la simplicité supposée des « pics » liés à des émissions

industrielles. Ils permettent ainsi de faire prendre conscience de l'ampleur de la tâche à accomplir pour obtenir une meilleure qualité de l'air.

La connaissance plus fine des mécanismes de formation de l'ozone a permis de mieux établir le lien entre les émissions urbaines d'oxydes d'azote et la formation de l'ozone. Cette connaissance a contribué à crédibiliser les mesures d'urgence, même si leur efficacité réside surtout à s'inscrire dans une dynamique de la culture de la pollution de l'air qui essaie de maîtriser les sources.

Néanmoins, quelle que soit l'ampleur des efforts accomplis en matière de réduction des gaz précurseur, les perspectives du réchauffement climatique risquent de générer encore de nombreux épisodes d'ozone en dépit de la légère baisse constatée ces dernières années.

1. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029413664&categorieLien=id>
2. www.citepa.org
3. Avant le 1^{er} janvier 2007, il y avait en PACA trois AASQA : Airfobep, Airmaraix et qualité'air06.
4. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029413664&categorieLien=id>
5. <http://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=392>
6. http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
7. Instruction technique pour la mise en œuvre de l'arrêté de mars 2014
8. http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
- 9 http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Depliant_reductions_de_vitesses_cle6f3563.pdf.

Références

- Billon M. (2004). Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique.
- Carrega P, Martin N. (2010). Zone et flux d'air dans l'arrière-pays niçois : mesures et modélisation à fine échelle spatiale durant un épisode estival (le 10 août 2006) *Pollution atmosphérique*, n° 207, p. 297-313.
- Coll I, Lasry F. Simulation de scénarios de réduction d'émissions. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/060601_LISA_PRIMEQUAL_SCENARIOS.pdf
- Martin N, Carrega P. (2009). La variabilité spatiale de l'ozone en milieu urbain et périurbain : le cas de Nice. *Pollution atmosphérique*, n° 204, p. 461-474. [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=1238>.
- Martin N. (2009). La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes. Thèse, 281 p. [En ligne] : <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/358297/filename/These.pdf>
- Michelot N, Carrega P, Rouil L. (2015). Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique, *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 92.
- Michelot N. (2014). L'influence des topo-climats sur la pollution de l'air aux particules dans le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes. Thèse soutenue devant l'université de Nice le 21 février, 416 p.
- Michelot N. (2015). Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, « Les pointes de pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience ».
- Nader B. (2015). Épisodes de pollution aiguë : quelles réponses sanitaires pour quels enjeux ? *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 20.
- Robin D. (2015). Valorisation des apports du programme ESCOMPTE pour la surveillance de la qualité de l'air et le développement de supports d'illustrations des résultats. *Pollution atmosphérique*, n° spécial.
- Affiche information lors d'un épisode de pollution à l'ozone : http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
- Pollution photochimique de fond et de pointe 2014 et historique sur 10 ans. Procédure préfectorale 2014. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ba/141201_bilan_ozone_2014_web.pdf
- Bilan de l'ozone en 2013. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ft/131000_bilan_ozone_2013.pdf
- Surveillance de la qualité de l'air sur la Communauté d'Agglomération de la Riviera Française en 2010. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/110920_Bilan_CARF_VF.pdf
- L'ozone en 2011. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ft/110616_Dossier_Ozone_2011.pdf
- Surveillance de la qualité de l'air dans la Communauté d'Agglomération Dracénoise – pollution photochimique. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/120119_Draguignan_Pollution_Photochimique.pdf
- Apports du programme escompte pour la surveillance de la qualité de l'air. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/rapport_primequal_valorisation_web.pdf