# Épisodes de pollution

Effets

Fiche détaillée

Niveau ★☆☆

(A partir de la 4ème)

# I. Introduction

Différents événements climatiques peuvent avoir une influence sur la santé publique et causer une mortalité exceptionnelle. Il s'agit généralement d'événements extrêmes où les paramètres climatiques prennent des valeurs inhabituelles. Les plus fréquents sont les périodes de froid intense survenant en hiver et qui peuvent causer des décès par hypothermie chez les personnes non protégées. Les périodes de froid intense peuvent aussi favoriser les épidémies de grippe qui sont un facteur de mortalité chez les personnes fragiles. On ne pourrait parler de véritable aléa climatique que si ces événements survenaient à des latitudes où ils ne peuvent normalement pas se produire. Ce n'est jusqu'à présent pas le cas pour les évènements extrêmes de type hivernal. Ces évènements sont souvent causés par des conditions anticycloniques hivernales qui conduisent à une stagnation des masses d'air en raison de vents faibles et d'une mauvaise diffusion verticale, et donc d'une mauvaise dispersion des polluants dont les émissions s'accroissent avec le chauffage urbain en réponse aux basses températures.

Les vagues de froid ou de précipitations neigeuses surabondantes enregistrées régulièrement aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord, et qui affectent donc des populations nombreuses, ne peuvent pas être attribuées au changement climatique. Il existe en revanche un exemple récent d'événement inverse, qui, s'il ne peut être non plus a priori attribué au changement climatique généré par l'action de l'homme n'en a pas moins une nature tout à fait exceptionnelle : il s'agit de la canicule de l'été 2003 sur l'Europe de l'Ouest. Les périodes de fortes chaleurs ou les canicules sont aussi associées à des conditions anticycloniques exceptionnelles, persistantes, et ces évènements s'accompagnent également d'un accroissement de la pollution atmosphérique qui est cette fois dominée par les polluants d'origine photochimique comme l'ozone.

Dans un cas comme dans l'autre, les effets de la pollution de l'air s'ajoutent aux effets climatiques pour conduire à un accroissement de la mortalité qui frappe les personnes les plus fragiles.

# II. Episodes hivernaux de pollution

A Londres, en décembre 1952, une situation anticyclonique est à l'origine d'une augmentation brutale des concentrations ambiantes de $SO_2$ et de particules, Les concentrations de $SO_2$ ont atteint 1250 µg/m3 et les concentrations des fumées noires 2650 µg/m$^3$. L'épisode de pollution a duré 5 jours et causé 4 000 décès supplémentaires par rapport à la mortalité normale. Les polluants responsables de l'excédent de mortalité sur Londres n'ont pas été tous identifiés clairement, mais comme dans tous les épisodes de ce type, il a été observé de fortes concentrations de $SO_2$ et de particules. D'autres épisode sont survenus à Londres en 1956 (>1000 décès), 1957 (700-1000 décès), 1962 (340 décès).

Les épisodes hivernaux de pollution se caractérisent par une absence de vent horizontal et un bilan radiatif négatif en surface entraînant une forte inversion radiative nocturne à très basse altitude qui bloque la diffusion verticale et crée un effet de « couvercle ». Les facteurs aggravants sont l'absence de plan d'eau (générateur de brises), la topographie (effet de vallée), la présence de neige ou glace au sol (bilan radiatif) et enfin, la présence de fines particules.

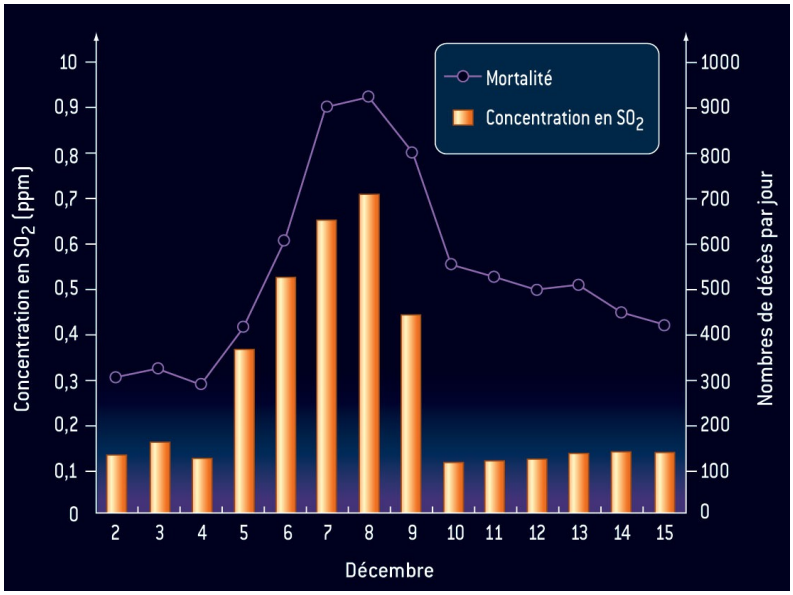



***Figure 1 :*** *Variation de la concentration de $SO_2$ (ppm) et de la mortalité pendant l'épisode de pollution de décembre 1952 à*

***Photo 1 :*** *Pollution hivernale au dessus d'une cité*

**Photo 2 :** *diffusion de panaches dans et au dessus de la couche d'inversion radiative*

Les polluants impliqués sont d'origine industrielle comme le dioxyde de soufre et les particules mais les concentrations d'oxydes d'azote, notamment de $NO_2$, formé par oxydation par l'ozone du NO issu du trafic automobile subi peu de photolyse à cause des conditions hivernales, interviennent fortement dans ces épisodes de pollution. Aujourd'hui les émissions de $SO_2$ ont largement baissé en raison de l'utilisation très réduite du charbon et de la désulfurisation des carburants. Des épisodes comme celui de Londres en 1952 ne sont plus susceptibles de se produire dans les villes européennes. Les principaux facteurs de pollution urbaine hivernale sont le $NO_2$, les COV et les particules. Au voisinage d'importants sites industriels, des épisodes de pollution au $SO_2$ et particules (de type acido-particluaire en raison de la transformation du $SO_2$ en $H_2SO_4$), peuvent toutefois intervenir. Cette forme de pollution est d'origine essentiellement industrielle, elle a lieu en période hivernale, et toujours assez localisée. On ne doit pas la confondre avec la pollution photochimique (ou photo-oxydante) parfois observés en été (cf ci-dessous).

# III. Episodes estivaux de pollution

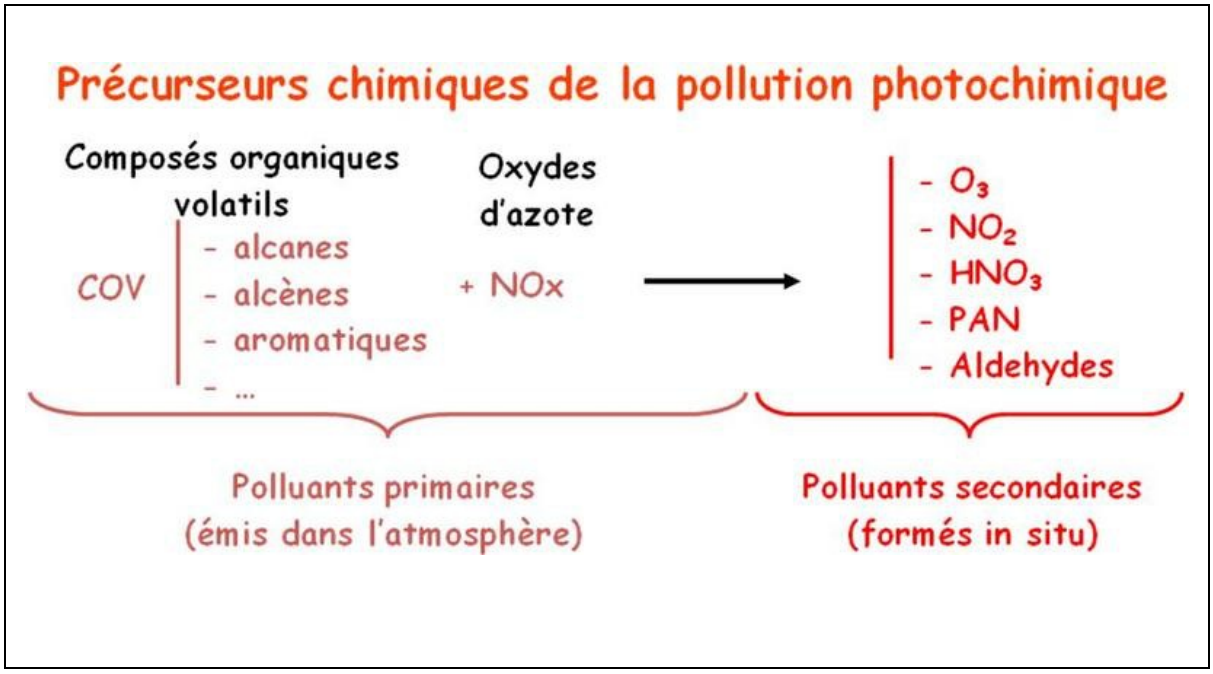
Les épisodes estivaux de pollution ont été mis en évidence au milieu des années 40 avec les premières observations dans la région de Los Angeles où l'on a détecté la présence d'oxydants en concentrations très élevées lors de journées chaudes et ensoleillées avec des dommages sur les cultures agricoles liés à une nouvelle forme de pollution.

Dès le début des années 50 des expériences de laboratoire ont été effectuées reproduisant les symptômes observés sur les plantes en les exposant à de l'air synthétique contenant des composés organiques volatiles (COV), des oxydes d'azote (NOx) et en présence d'irradiation solaire. Elles ont permis la mise en évidence d'un mécanisme du type :

**COV + NOx + hK® $O_3$ + "autres produits"**

Par la suite, et depuis les années 1970 des concentrations élevées de $O_3$ ont été observées dans le panache de la plupart des grandes agglomérations urbaines.

Il s'agit en fait d'une pollution « photochimique » qui en présence de gaz précurseurs conduit à une importante formation d'oxydants, dont l'ozone, qui peut atteindre des concentrations très élevées, dépassant 500 µg/m³.




Les plus fortes concentrations d'ozone se produisent souvent lors "d'épisodes" de plusieurs jours consécutifs, associés à une forte chaleur et un fort rayonnement. Durant les périodes anticycloniques estivales, le vent dans la couche limite peut être très faible (de l'ordre de 0 à 10 kilomètres/h), et variable en direction, ce qui limite la dispersion des olluants.

Ces épisodes présentent en général des caractéristiques communes qui sont les suivantes :

- En début de matinée : augmentation de la concentration en NO. Le maximum de concentration coïncide avec le maximum des émissions (trafic automobile) ;
- Croissance de la concentration en $NO_2$ qui atteint un maximum ;
- $O_3$ (oxydant) qui est à un niveau de concentration bas le matin augmente puis atteint une concentration maximale en début d'après-midi. La concentration de NO est alors basse ;

Comme le montre la figure 3.

Chaque ville ou source de polluant produit chaque jour un panache qui se disperse et se mélange avec les panaches des autres villes. Lorsque la température est élevée, les émissions biogéniques d'hydrocarbures (COV) deviennent importantes entraînant une contribution supplémentaire à la formation d'ozone (jusqu'à +30%). La température a également un impact sur les évaporations d'hydrocarbures anthropiques (réservoirs, cuves…).

L'augmentation de ces émissions, et surtout le fait que la chaleur se cumule de jour en jour comme l'ozone quand la masse d'air stagne sur des régions continentales, provoque souvent une simultanéité des épisodes de chaleur et des épisodes d'ozone.

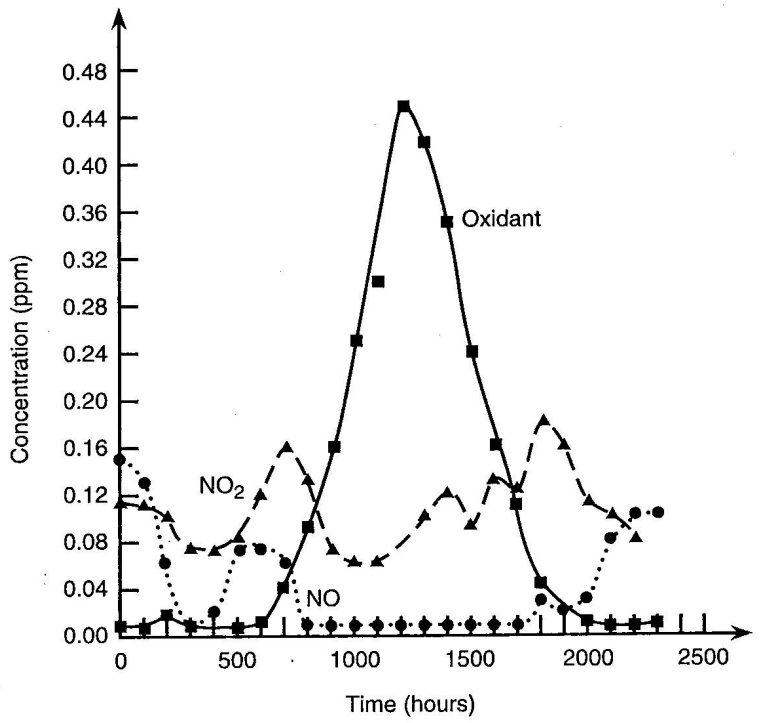



***Figure 3 :*** *Concentrations de NO, $NO_2$ et $O_3$ mesurées à Pasadena, Californie (Finlayson-Pitts et Pitts, 1977)*

# IV. Effets combinés de fortes chaleurs et de la pollution

## IV.I. Cas de la canicule d'Août 2003

En Août 2003, un phénomène climatique exceptionnel s'est positionné sur l'Europe pendant près de deux semaines, a causé la mort d'environ 15000 personnes en France et a généré des conséquences économiques sur la production agricole (baisse rendement) ou environnementales (feux de forêts, fontes accélérées des glaciers). Il s'agissait en fait d'une situation météorologique classique pour l'été avec des hautes pressions sur l'Europe de l'Ouest, mais avec une persistance anormalement longue, conduisant à une anomalie de température, notamment sur la France.

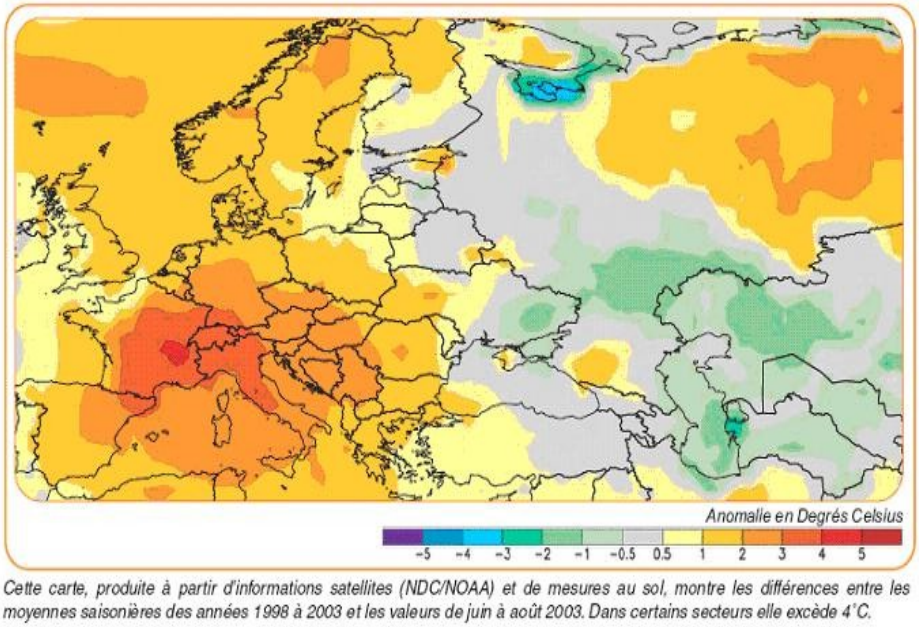



***Figure 4 :*** *Cette carte produite à partir d'informations satellite et de mesures au sol montre la différence entre les moyennes saisonnières des années 1998 à 2003 et les valeurs de juin à Août 2003 ; dans certains secteurs elle excède 4°C*

La situation météorologique générale a été caractérisé, fin juillet début août, par le développement d'une dorsale d'altitude de Gibraltar aux Pays-Bas, avec un renforcement la France, s'accompagnant pendant plus de 10 jours d'un flux d'air de sud très sec et très chaud. On a observé une montée progressive des températures du 1er au 5 août, avec des températures qui ont dépassé les normales de 12°C pour les maximales et de 7°C pour les minimales. La durée de la période de très fortes chaleurs avec des températures maximales moyennes supérieures à 36/37°C a duré plus de 10 jours. Pendant cette période la température, dite critique, au-delà de laquelle des atteintes graves à la santé peuvent intervenir chez les personnes fragiles, a été dépassée pendant plus de 10 jours dans la région parisienne notamment (cf figure 5).

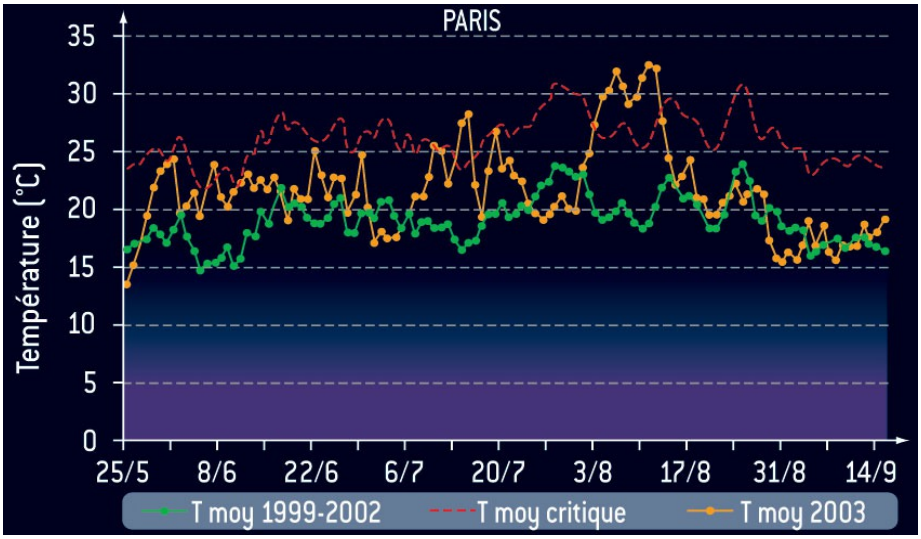



**Figure 5:** *Évolution de la température moyenne sur 1999-2002 et en 2003 entre le 25 Mai et le 15 Septembre, comparée à la température critique (température moyenne 1999-2002 + 7°C), à Paris. La température critique est dépassée du 4 au 15 août 2003.*

La vague de chaleur s'est accompagnée d'une forte surmortalité : l'excès quotidien du nombre de décès a augmenté régulièrement et massivement dès le 4 août jusqu'à atteindre, pour la journée du 12 août, plus de 2 000 décès. Au total, le nombre cumulé de décès en excès par rapport aux années précédentes a été d'environ 14 800 le 20 août, soit une augmentation de 55% par rapport à la mortalité habituelle.

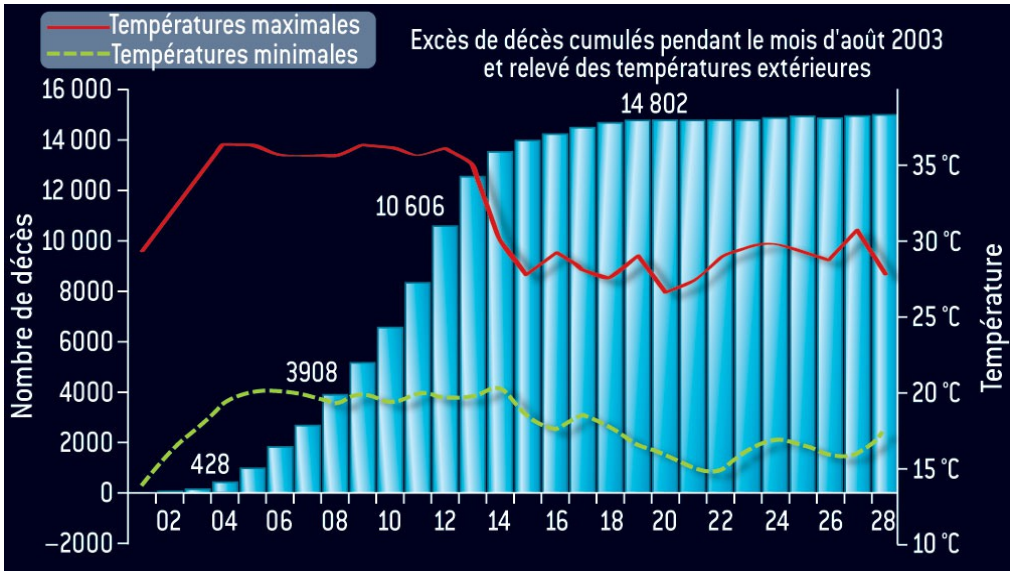



**Figure 6:** *Le nombre cumulé des décès en excès par rapport aux années précédentes a été d'environ 400 le 4 août, 3 900 le 8 août, 10 600 le 12 août et 14 800 le 20 août. La décroissance de la surmortalité a suivi la décroissance de la température, se stabilisant vers le 20 août à une surmortalité cumulée proche de 15 000 décès (14 802).*

## IV.II. Influence de la pollution atmosphérique

Les épisodes estivaux de pollution atmosphérique sont associés aux périodes anticycloniques marquées par un fort ensoleillement, de fortes chaleurs et une relative faiblesse du vent horizontal. Ces conditions favorisent à la fois la formation des polluants d'origine photochimique (ozone), et leur accumulation (absence de dispersion par le vent). Ce fut bien sûr le cas en 2003 : la période de canicule des deux premières semaines du mois d'Août s'est accompagnée d'un épisode tout aussi exceptionnel de pollution atmosphérique, comme le montre les figures suivantes

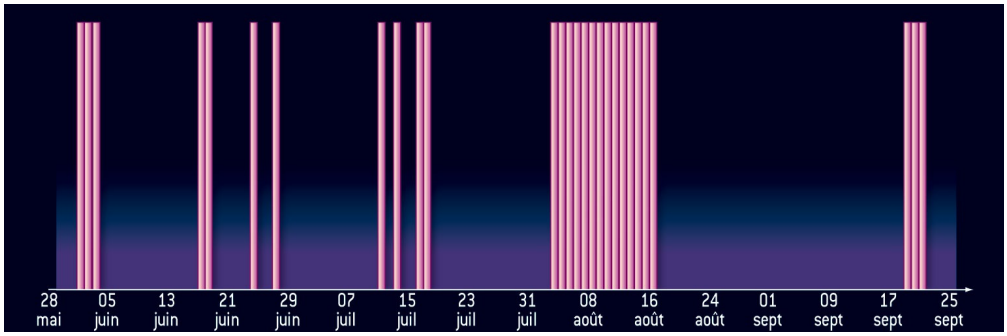



**Figure 7:** *Épisodes de pollution atmosphérique observés en île de France au cours de l'été 2003. On observe un dépassement continu du seuil de pollution pendant 13 jours du 2 au 15 Août, ce qui constitue un épisode d'une durée exceptionnelle (données Airparif).*

De nombreuses études épidémiologiques ont associé les niveaux d'ozone urbains avec la surmortalité à l'occasion de l'épisode exceptionnel observé en 2003 en France. Au niveau individuel, sont sensibles principalement les enfants, les personnes âgées en mauvaise santé, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires et les insuffisants cardiaques. Les conséquences pour la santé sont fonction du niveau d'exposition, du volume d'air inhalé et de la durée de l'exposition. Il est évidemment très difficile de distinguer les effets directs de l'hyperthermie, les effets de pollution atmosphérique, et les effets combinés des deux causes dans la surmortalité observée en août 2003. Les épidémiologistes ont avancé un chiffre de 5000 décès pouvant être attribués à la mauvaise qualité de l'air, sur un total de 15 000.

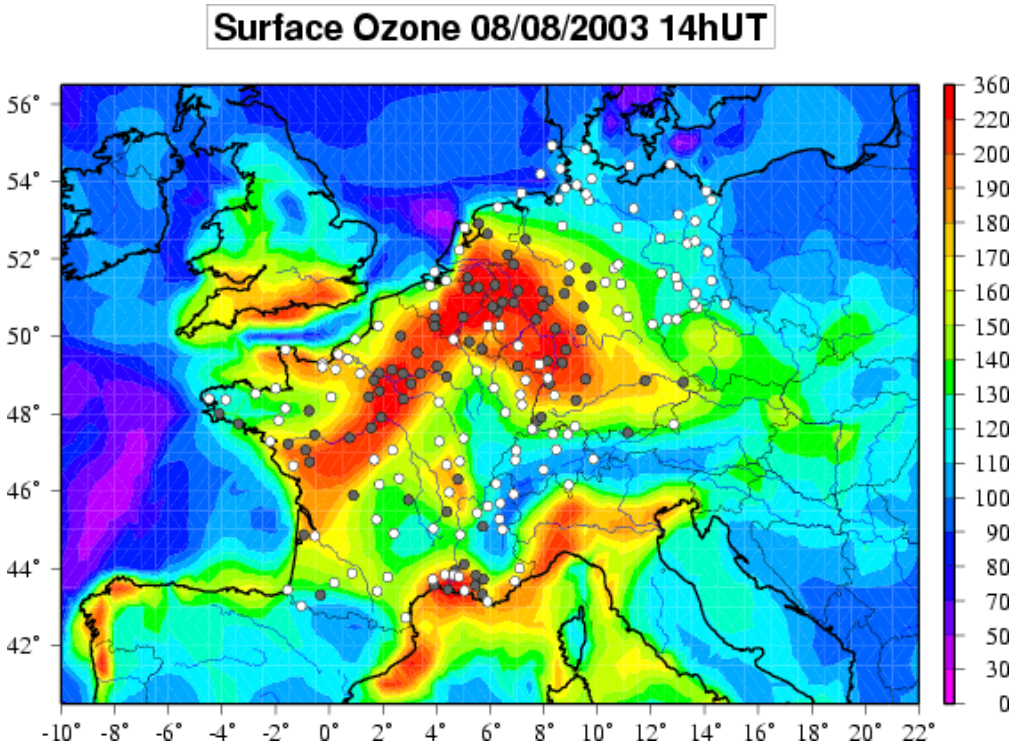



***Figure 8:*** *Concentration d'ozone sur la France le 8 Août 2003 (données Prev'air) montrant que seuil d'information à la pollution à l'ozone est dépassé sur la majeure partie du territoire et largement dépassé dans la région parisienne*

## IV.III. Canicule et changement climatique

Même s'il n'est pas possible d'attribuer la canicule (et la pollution associée) survenue en Europe de l'ouest, et notamment en France, au cours de l'été 2003 au changement climatique, il faut souligner la nature tout à fait exceptionnelle de ce phénomène dont l'ampleur est sans précédent depuis que des observations météorologiques existent. Il est cependant probable que ce type de phénomène soit appelé à se reproduire de plus en plus fréquemment au cours du XXI° siècle, si l'on en juge par les températures estivales prévues par Météo France pour le siècle à venir (figure 9). A partir de 2050, un été sur trois serait potentiellement plus chaud que celui de 2003.

**Figure 9:** Température estivale en France observées au 20 siècle et prévues pour le 21° siècle programme GICC-IMFREX coordonné par M. Déqué (Météo-France)

Une élévation importante de la température pourrait conduire à un sensible recul sensible de la mortalité hivernale. En contrepartie avec des vagues de chaleurs estivales importantes et répétées, il serait difficile d'éviter une surmortalité estivale car la chaleur excessive (et la pollution de l'air associée), outre les phénomènes d'hyperthermie, favorise également une recrudescence de diverses maladies cardio-vasculaires, cérébro-vasculaires, respiratoires, métaboliques ou psychiques. Une simulation sur la France montre qu'un réchauffement de 1,5°C n'aurait qu'un faible impact en revanche un réchauffement de 3°C, jugé plausible pour la fin du 21° siècle, inverserait le rythme annuel de mortalité (d'après J.P. Besancenot, dossier Pour la Science n°54, 2007)

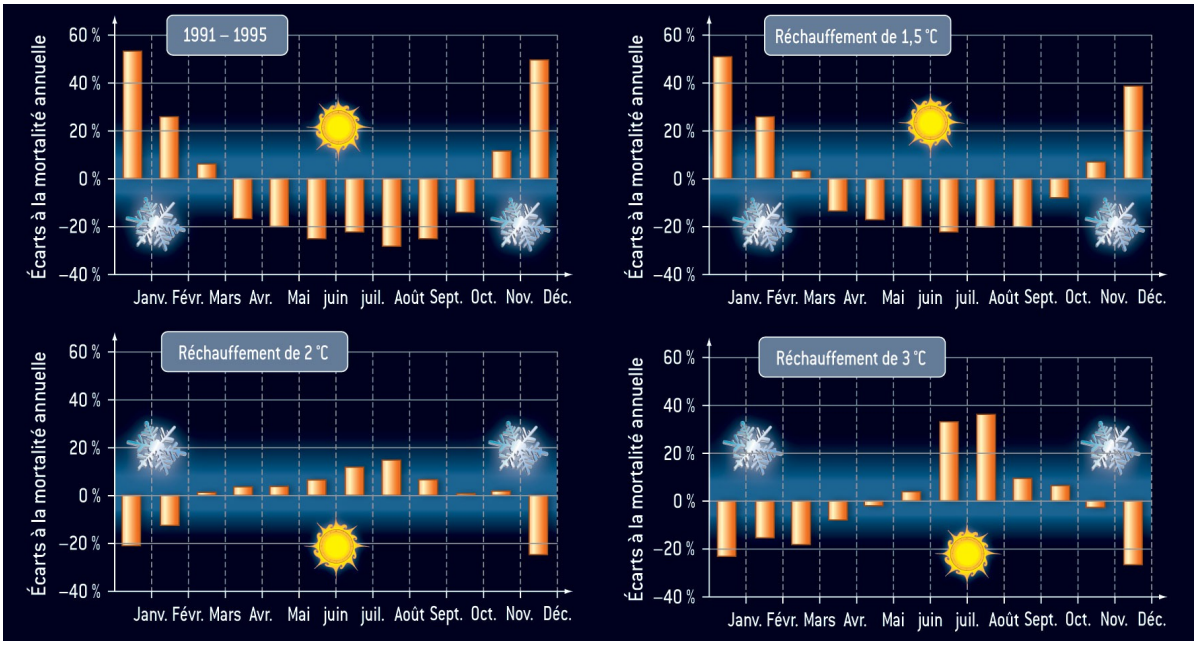



**Figure 10:** *Modélisation du rythme saisonnier de la mortalité en France dans le contexte du changement climatique*