

Pollutions : des spécificités urbaines?

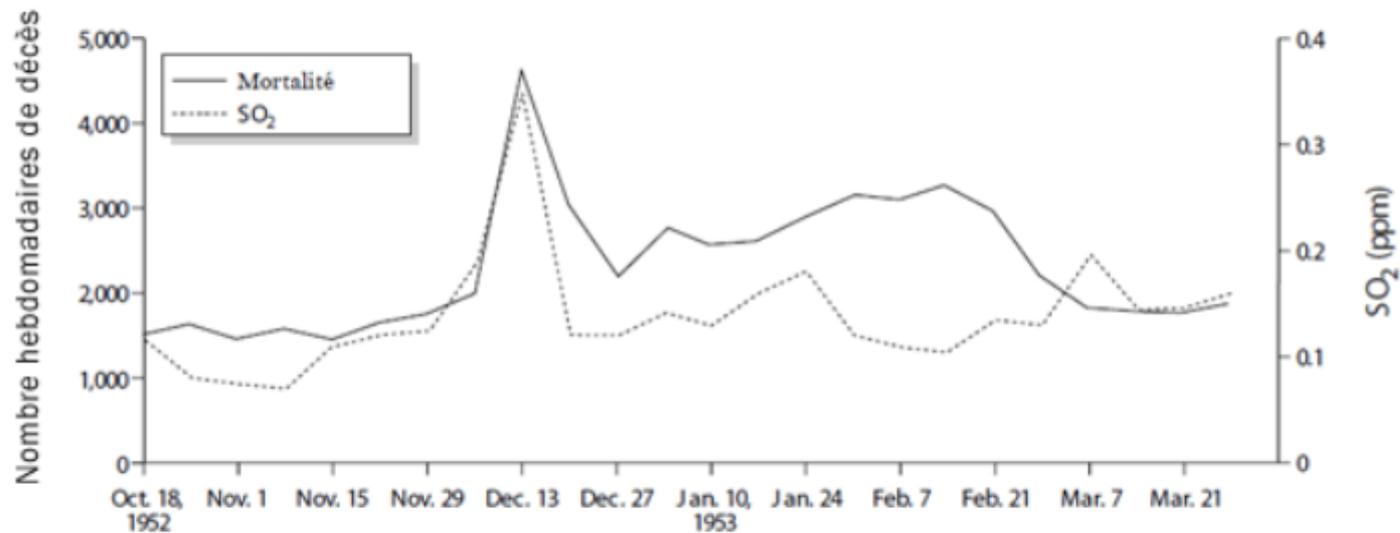
- 1) Effets sur la santé et l'environnement**
- 2) Smog, pollution soufrée et particules fines**
- 3) Oxydes d'azotes**
- 4) Ozone**
- 5) Gaz à Effet de Serre**



1) Effets sur la santé : rappel historique

L'épisode de « smog » londonien de l'hiver 1952

La conscience actuelle des effets de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé doit beaucoup à un épisode tragique qui est survenu à Londres entre le 5 et le 9 décembre 1952. Durant ces cinq jours, un nuage épais de fumées sulfureuses provenant des usines et des chauffages individuels au charbon a stagné sur le bassin londonien. Les concentrations de particules en suspension et de dioxyde de soufre (SO₂) ont atteint des niveaux de plusieurs milliers de microgrammes par mètre cube (les concentrations actuelles sont plutôt de l'ordre de la dizaine de $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Paris et à Londres), entraînant un excès de mortalité exceptionnel : une analyse récente porte à 12 000 le nombre de décès en excès, observés jusqu'en février 1953.



Nombre de décès et concentrations en dioxyde de soufre lors de l'épisode de smog de l'hiver 1952 à Londres

Source : ML Bell, 2001 [1]

Cette catastrophe sanitaire (d'une ampleur comparable à celle de la canicule de 2003 en France, qui a engendré une surmortalité de 15 000 personnes en France métropolitaine [2]), a entraîné une prise de conscience de l'opinion et des pouvoirs publics qui a conduit à la création de législations spécifiques pour lutter contre la pollution atmosphérique : Clean Air Act (1956) au Royaume-Uni, Air Pollution Control Act (1955) puis Clean Air Act (1963, étendu en 1970) aux États-Unis et, en France, loi du 2 août 1961 relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs.

1) Effets sur le patrimoine

Dégâts causés par la pollution : statue en grès de 1702 photographiée en 1908 (gauche) et 1969 (droite)



Source : Photo: Westfälisches Amt für Denkmalpflege

1) Effets sur les écosystèmes

L'impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes

Les retombées au sol de composés acides ou acidifiants sous l'effet des vents et des précipitations peuvent impacter les forêts, les sols et les milieux aquatiques. Les substances contribuant aux retombées acides ou acidifiantes sont le plus souvent d'origine humaine : SO_2 , NO_x et NH_3 . Une fois émis, ces polluants peuvent être transportés par le vent et les turbulences de l'air sur de plus ou moins longues distances. Une partie seulement de ces émissions va former des composés acides ou acidifiants qui se déposeront ensuite partiellement dans l'environnement. **L'acidification des eaux est néfaste pour la faune et la flore aquatique.** Elle appauvrit les sols en minéraux nécessaires à la nutrition des végétaux : calcium, potassium, magnésium, au profit des cations acides (protons, aluminium). L'acidification favorise également le passage dans l'eau de métaux contenus dans les sols (aluminium).

La réglementation européenne fixe un seuil en SO_2 et un seuil en NO_x pour la protection de la végétation. Si le seuil sur le

SO_2 est respecté sur la totalité des stations, celui pour les NO_x est en revanche dépassé sur plus de la moitié des stations entre 2010 et 2012.

La végétation peut également être directement touchée par la pollution de l'air par l'ozone. L'impact sur les écosystèmes se fait sentir dès que les concentrations de ce polluant dépassent certains seuils. Les concentrations élevées en ozone peuvent en effet altérer les principaux processus physiologiques de la plante (photosynthèse, respiration) et réduire la production des végétaux et impliqueraient une baisse des rendements en agriculture. La réglementation européenne fixe un objectif à court terme et un objectif à long terme pour la protection de la végétation. Ces deux seuils sont respectivement dépassés sur 26 % et 98 % des stations rurales sur la période 2008-2012.

1) Dégradation environnement 1ère cause de mortalité ?

Les maladies qui affectent le plus communément les Européens aujourd'hui sont la résultante de différents facteurs qui se produisent sur des durées et des périodes variables selon les individus.

Leur vulnérabilité est déterminée par leurs caractéristiques génétiques, leur âge, leur état de santé, leur alimentation et leur degré de bien être. Il est donc difficile de déterminer avec précision les causes exactes des maladies.

On a rendu responsables des cancers le tabagisme, l'amiante, certains pesticides, l'alimentation, l'exposition au soleil, les polluants des dégagements de diesel, les métaux lourds et beaucoup d'autres matières cancérigènes.

En ce qui concerne les maladies cardio-vasculaires on a incriminé les inhalations de particules, le tabagisme, le monoxyde de carbone et une alimentation riche en cholestérol.

Les expositions au plomb, au cadmium, au méthyl-mercure, aux fumées de tabac et aux pesticides sont toutes associées aux retards ou aux anomalies du développement des nourrissons.

Le bruit peut avoir des conséquences graves sur la santé des individus.

Ces problèmes trouvent leur illustration dans les faits et chiffres suivants :

- l'exposition au travail à certains pesticides peut accroître le risque de contracter la maladie de Parkinson de 15 à 20 % ;
- en Europe, l'environnement d'environ 10 millions de personnes les expose à des niveaux sonores qui peut les rendre sourds ;
- dans le monde, on estime qu'environ 3 millions de personnes meurent chaque année prématurément en raison de la pollution de l'air ;
- en Europe, l'asthme affecte un enfant sur sept. Le nombre des individus souffrant d'allergies, dont l'asthme, a continué à croître de façon spectaculaire au cours des 30 dernières années ;
- le tabagisme passif augmente le risque de cancer du poumon des non fumeurs de 20 à 30 % ;
- au seul Royaume Uni les dépenses annuelles totales dues à l'asthme sont estimées à 3,9 milliards d'euros ;
- dans certains pays européens le nombre des cancers des testicules augmente tandis qu'un nombre croissant d'hommes jeunes ont une concentration basse de spermatozoïdes; des symptômes du même type peuvent être provoqués chez les rats en les exposant à certains produits chimiques mais pour l'instant il n'y a pas de preuve évidente que l'exposition à ces produits affecte la santé reproductive des humains. "

d'après les conclusions du cinquième programme cadre de recherche de l'UE (Commission européenne 2002)

<http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/pnse/rapport.pdf>

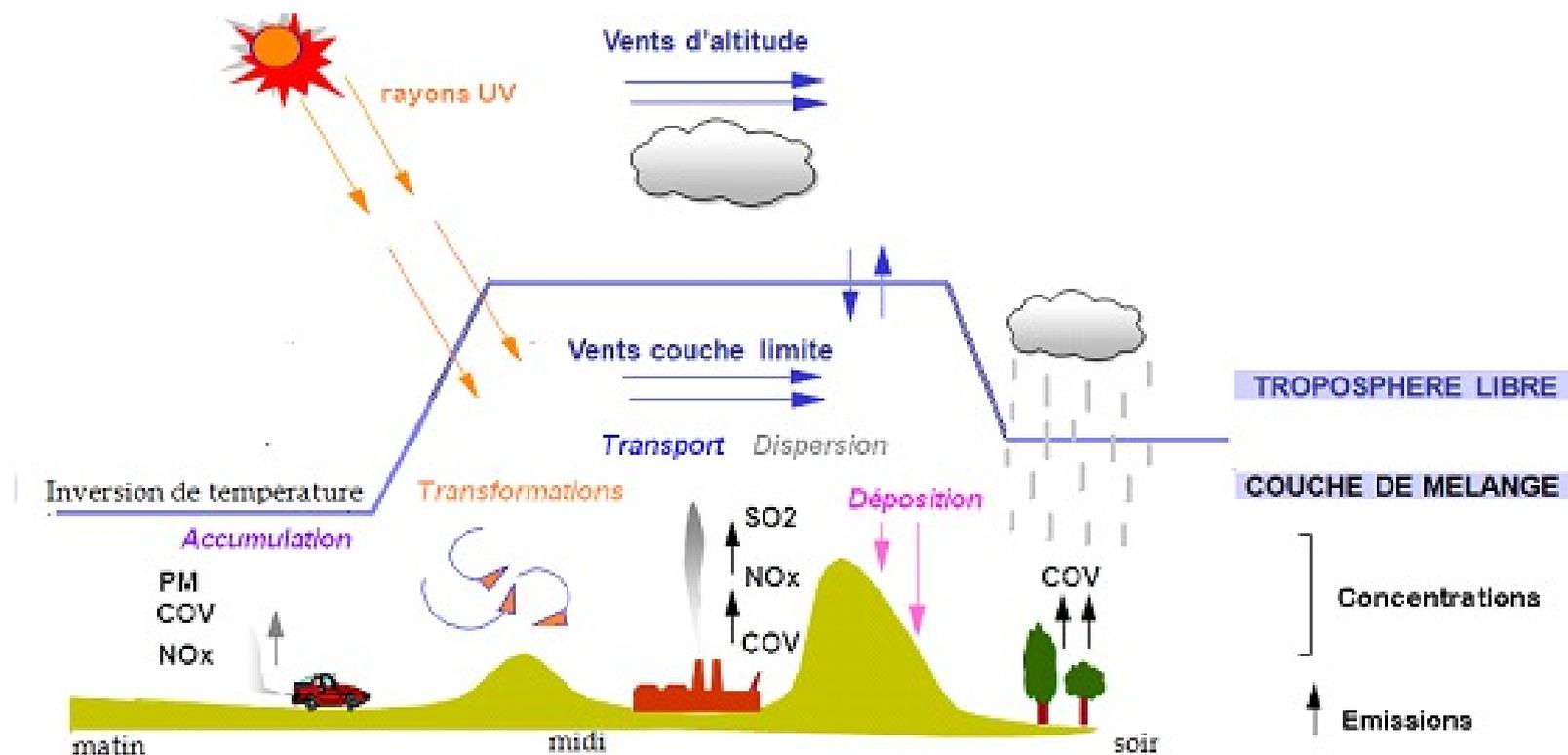
1) Émissions *versus* Concentrations

Les **émissions** de polluants correspondent aux quantités directement rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines (cheminées d'usine ou de logements, pots d'échappement, agriculture...) ou par des sources naturelles (volcans, ou composés émis par la végétation et les sols) exprimées par exemple en kilogrammes ou tonnes par an ou par heure.

Les **concentrations** de polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire, et qui s'expriment le plus souvent en microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

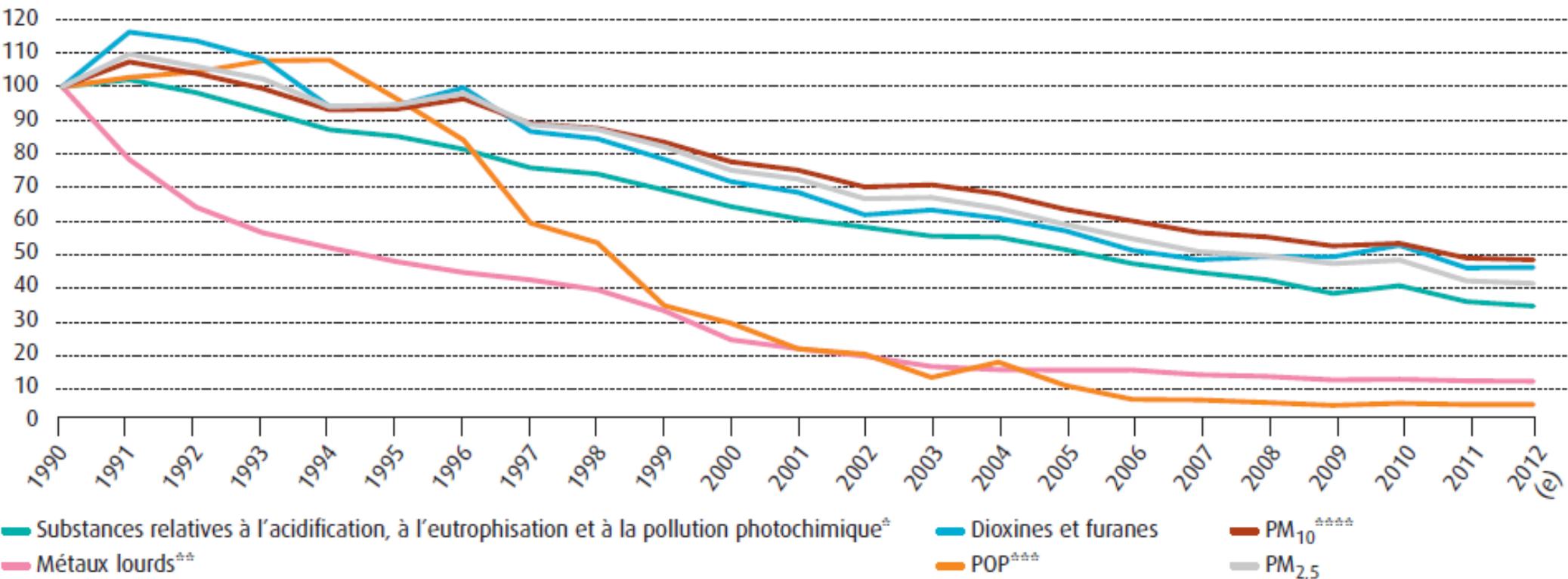
La qualité de l'air dépend des émissions même si il n'y a pas de lien simple et direct. En effet, la qualité de l'air résulte d'un équilibre complexe entre la quantité de polluants rejetée dans l'air et toute une série de phénomènes auxquels ces polluants vont être soumis une fois dans l'atmosphère sous l'action de la météorologie : transport, dispersion sous l'action du vent et de la pluie, dépôt ou réactions chimiques des polluants entre eux ou sous l'action des rayons du soleil.

Ainsi à partir d'émissions de polluants équivalentes en lieu et en intensité, les niveaux de polluants dans l'environnement peuvent varier d'un facteur cinq suivant les conditions météorologiques plus ou moins favorables à la dispersion, ou au contraire à la concentration de ces polluants.



1) Évolution récente des émissions

Indice base 100 en 1990



Note : e = estimation préliminaire ; France métropolitaine ; * SO₂, oxydes d'azote (NOx), COV non méthaniques (COVNM), CO et NH₃, ** les métaux lourds pris en compte sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le sélénium et le zinc ; *** polluants organiques persistants : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB), hexachlorobenzène (HCB) ; **** particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀).

Source : Citepa (format Secten, mise à jour avril 2013).

Des émissions en baisse, tous polluants confondus, depuis (au moins 25 ans)

1) Recommandations de l'OMS (concentrations)

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recommande des niveaux d'exposition (concentrations et durées) au-dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation.

Polluants	Durée d'exposition								
	10 mn	15 mn	30 mn	1 heure	8 heures	24 heures	Semaine	année	UR Vie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
Dioxyde d'azote (NO ₂)				200				40	
Monoxyde d'azote (NO)	Pas de valeur guide disponible								
Ozone (O ₃)					100				
Dioxyde de soufre (SO ₂)	500					20			
Plomb (Pb)								0,5	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM ₁₀)						50 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an		20	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres (PM _{2,5})						25 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an		10	
Particules (Fumées noires)	Pas de valeur guide disponible								
Monoxyde de carbone (CO)		100 000	60 000	30 000	10 000				

1) Directives européennes

En matière de qualité de l'air, trois niveaux de réglementations imbriqués peuvent être distingués (européen, national et local). L'ensemble de ces réglementations a pour principales finalités :

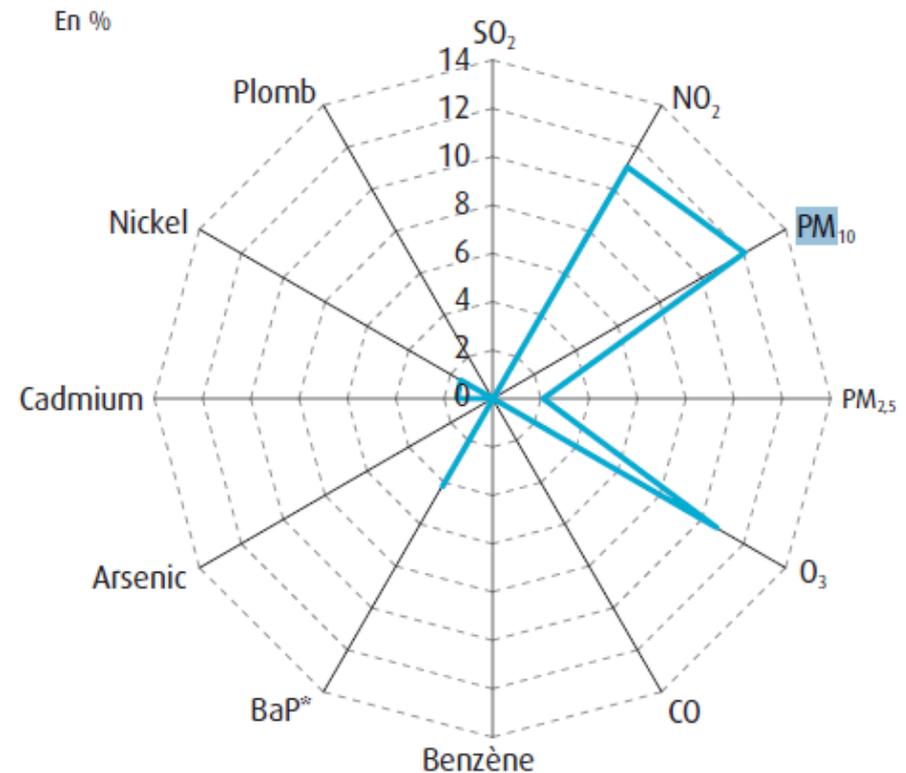
- ▶ L'évaluation de l'exposition de la population et de la végétation à la pollution atmosphérique.
- ▶ L'évaluation des actions entreprises par les différentes autorités dans le but de limiter cette pollution.
- ▶ L'information sur la qualité de l'air.

La stratégie communautaire de surveillance de la qualité de l'air se base sur la directive européenne (2008/50/CE) du 21 mai 2008 (pdf - 231 ko) et sur la directive n°2004/107/CE du 15 décembre 2004 (pdf - 79 ko). Ces directives établissent des mesures visant à :

- ▶ Définir et fixer des objectifs concernant la qualité de l'air ambiant, afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement dans son ensemble.
- ▶ Évaluer la qualité de l'air ambiant dans les États membres sur la base de méthodes et critères communs.
- ▶ Obtenir des informations sur la qualité de l'air ambiant afin de contribuer à lutter contre la pollution de l'air et les nuisances et de surveiller les tendances à long terme et les améliorations obtenues grâce aux mesures nationales et communautaires.
- ▶ Faire en sorte que ces informations sur la qualité de l'air ambiant soient mises à la disposition du public.
- ▶ Préserver la qualité de l'air ambiant, lorsqu'elle est bonne, et l'améliorer dans les autres cas.

<http://www.airparif.asso.fr/reglementation/normes-europeennes>

% de stations avec non respect des seuils de protection de la santé humaine en 2012



Note : DOM inclus ; les dépassements de seuils sont calculés pour tous les types de stations confondus (fond urbain et rural, proximité industrielle et automobile).
*benzo(a)pyrène.

Source : base de données nationale de la qualité de l'air, juillet 2013 (gérée par le LCSQA depuis le 1^{er} janvier 2011 et par l'Ademe avant cette date).
Traitements : SOeS, 2013.

Commissariat général au développement durable • Service de l'observation et des statistiques

En France, pour être en conformité avec la réglementation européenne, qui repose sur les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), des améliorations sont nécessaires en termes de particules fines, d'oxydes d'azote et d'ozone

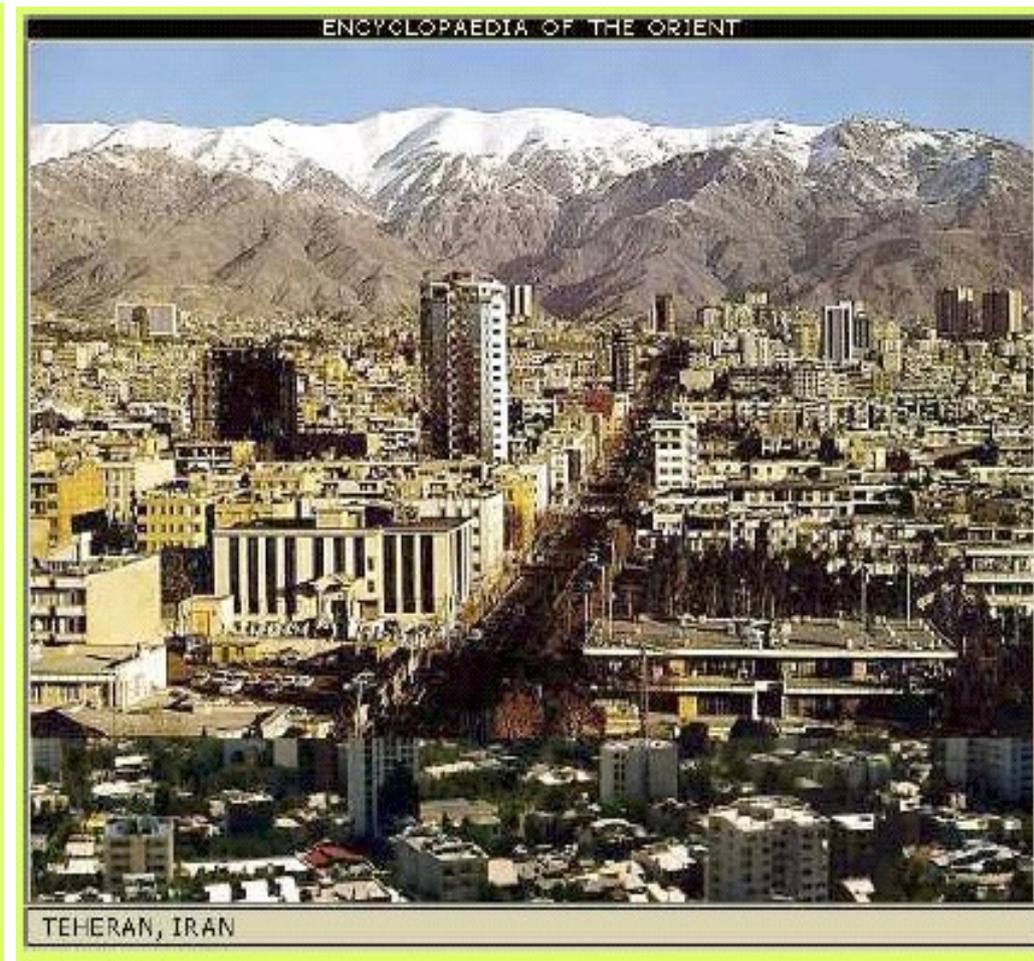
2) Smog, pollution soufrée et particules fines

Smog = Smoke (fumée, noyaux de condensation) + fog (brouillard)

Visibilité à Téhéran (Iran)



Lors d'une journée polluée

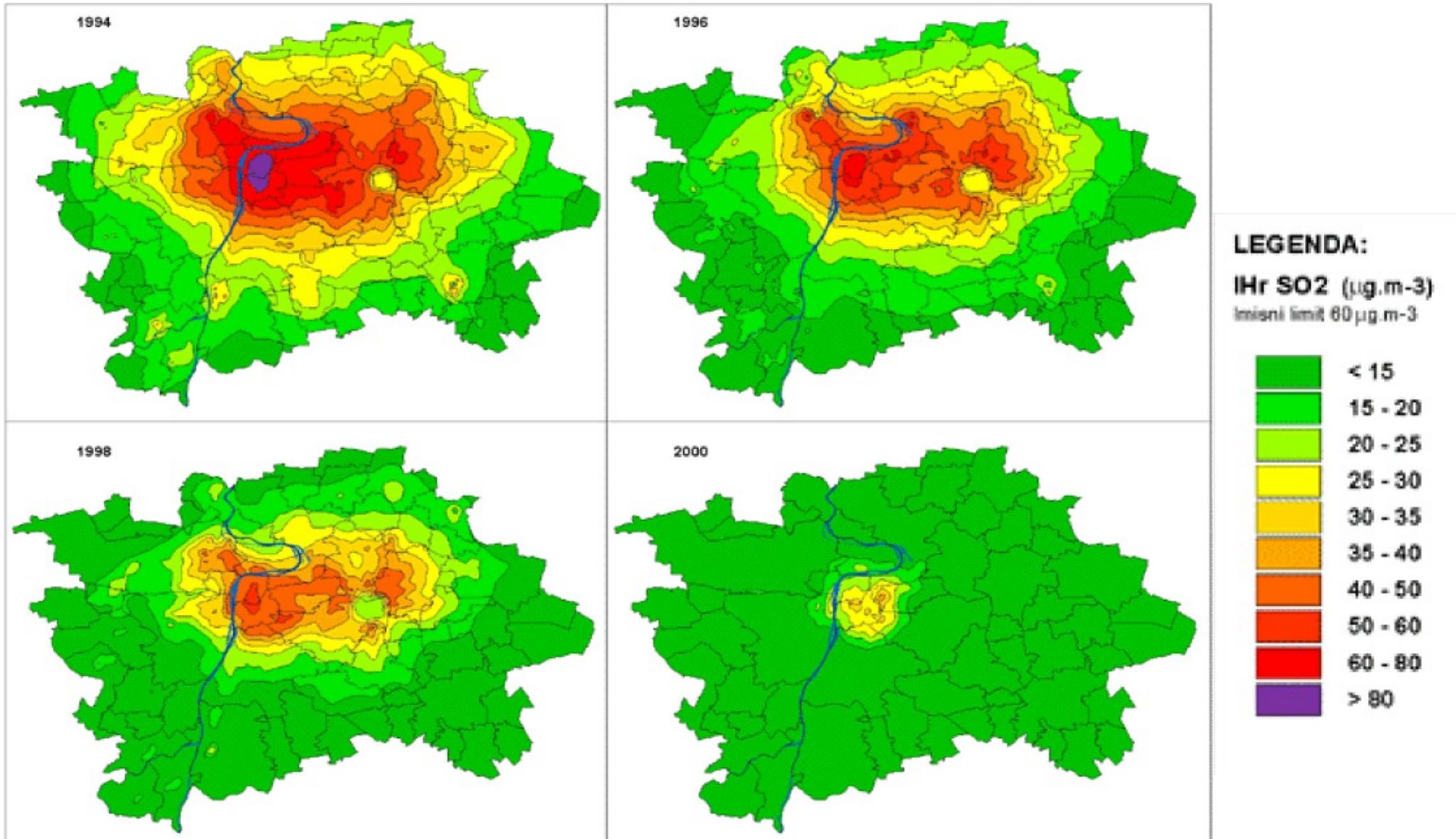


Lors d'une journée non polluée

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°13, October 2005

2) La pollution soufrée : exemple du SO₂ à Prague (République Tchèque)

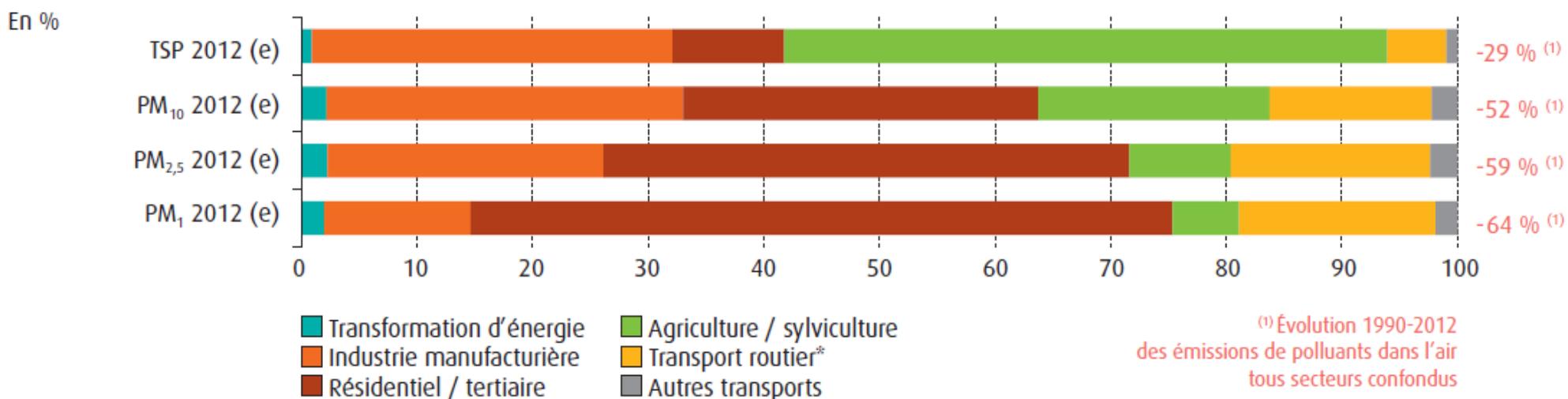
Évolution des concentrations annuelles au sol en SO₂ à Prague



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°8, December 2004

2) Les émissions de particules fines (PM) en France

Répartition par secteurs des émissions (2012)



Note : e = estimation préliminaire ; France métropolitaine ; * émissions de l'échappement et de l'usure.

Source : Citepa (format Secten, mise à jour avril 2013).

La responsabilité du secteur résidentiel/tertiaire, principalement du fait de la combustion de bois, est d'autant plus importante que les particules sont fines. Il en est de même pour la combustion du gazole qui représente 3 % des émissions de particules totales en suspension (TSP) et 18 % des particules de diamètre inférieur à 1 µm (PM1).

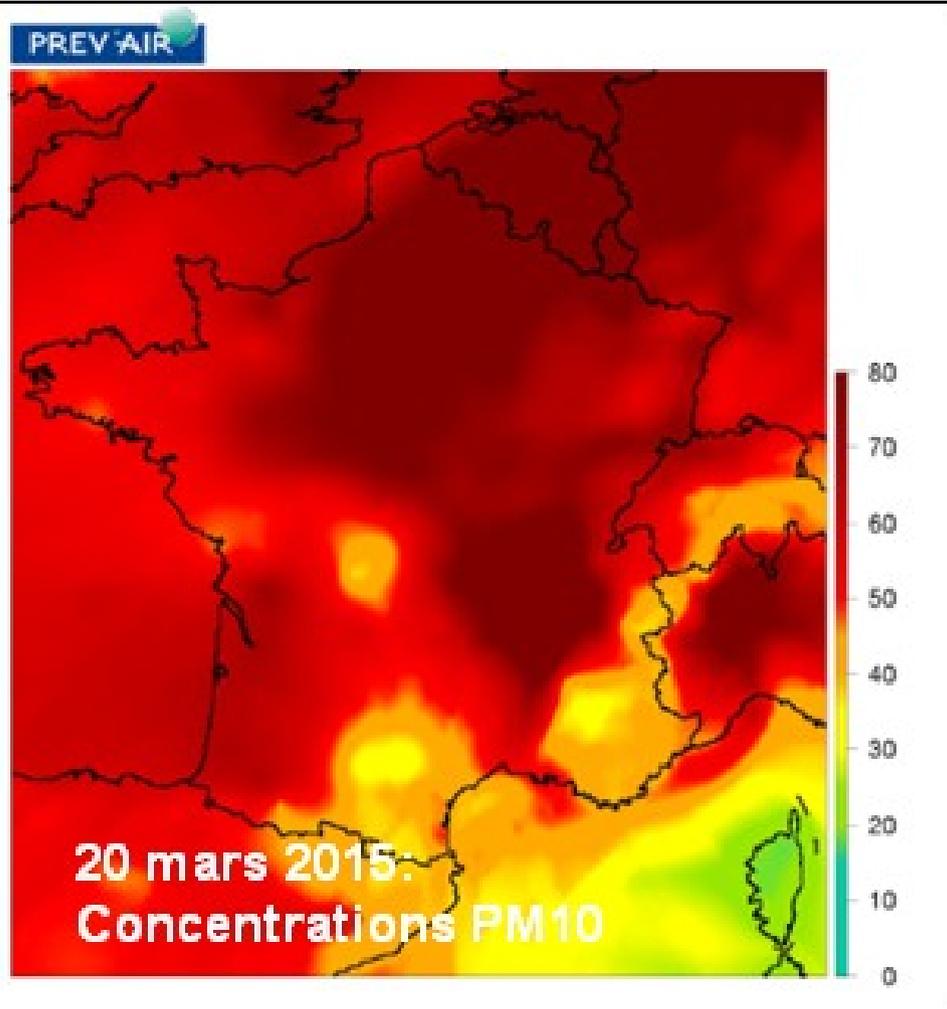
À l'inverse, l'industrie (32 % des PM10) et l'agriculture sont principalement responsables des émissions des particules les plus grosses.

La combustion de bois émet de nombreux polluants dans l'air, principalement des particules (PM10, PM2,5 et PM1), des HAP et des COV. Ces émissions varient selon l'âge de l'équipement de chauffage, le type d'installation (les foyers ouverts sont les installations les plus polluantes), les pratiques de l'utilisateur, la qualité du combustible utilisé et l'entretien de l'appareil (ramonage, nettoyage, etc.).

Les installations de fortes puissances (chaudières à biomasse collectives et industrielles, chauffage urbain) sont moins émettrices de polluants car leurs émissions sont réglementées.

2) Les pics de pollutions en particules fines (PM) en France

Comprendre l'épisode de pollution de mars 2015



Le 20 mars 2015 l'épisode de pollution particulaire qui impactait la France depuis une semaine a atteint son intensité maximale, tant au niveau des concentrations, que de l'étendue géographique du phénomène.

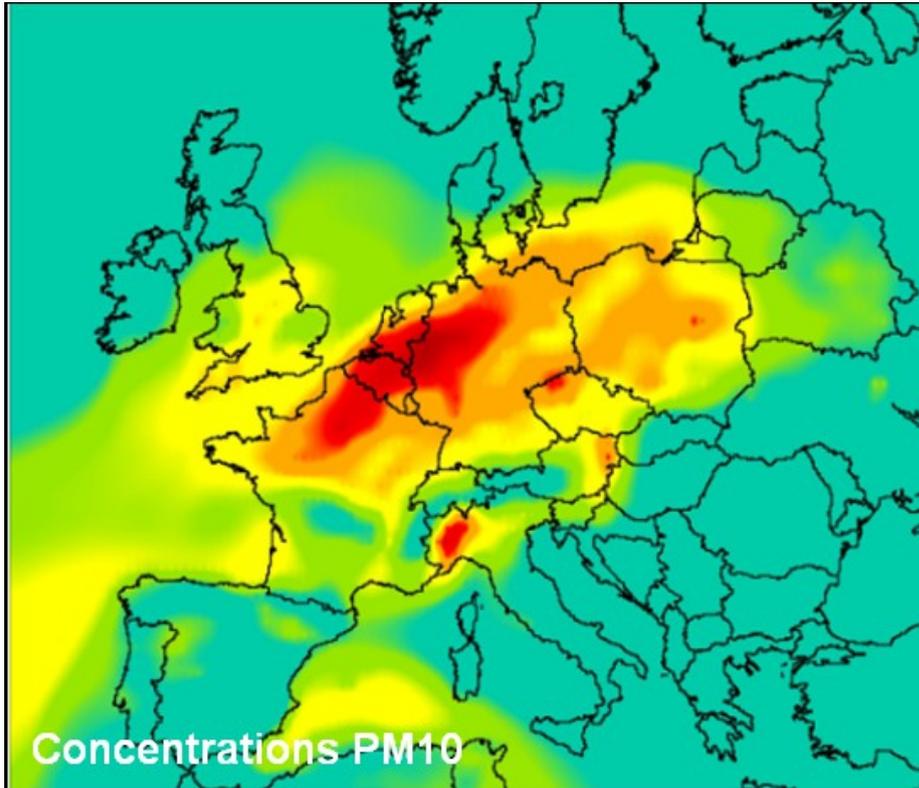
La carte du 20 mars pour la France est une analyse de la situation combinant résultats de modélisation et observations de terrain réalisées par les AASQAs. Il s'agit donc de la meilleure « photographie » de la situation.

Le seuil d'alerte national de 80 µg/m³ a été atteint et dépassé dans le Nord-pas de Calais, la Picardie, l'Ile de France, Champagne Ardennes, le Centre, la Bourgogne, Rhône-Alpes. Mais cette situation ne s'est pas limitée à la France, et en réalité une large partie de l'Europe a également été concernée par ces niveaux de pollution.

Des dépassements de la valeur limite en moyenne journalière de PM10 (50 µg/m³) imposée par la directive européenne sur la qualité de l'air (2008/50/CE) ont été observés en Allemagne, en Belgique, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni.

2) Les pics de pollutions en particules fines (PM) en France

Épisode de pollution de mars 2015 : pourquoi un phénomène d'une telle ampleur ?



Cette situation est particulièrement instructive sur le caractère de grande échelle de la pollution atmosphérique particulaire lors de ces épisodes de printemps.

Ils résultent de conditions météorologiques d'une exceptionnelle stabilité: peu de vent, températures encore froides le matin qui favorisent la formation de couches d'inversion (couche de l'atmosphère très stable dans laquelle la température augmente avec l'altitude) qui bloquent les polluants au sol.

L'ensemble des sources d'origine humaine de polluants atmosphériques est concerné : trafic routier et non routier, chauffage résidentiel, industrie mais aussi les activités agricoles intensifiées en Europe de l'Ouest à cette période de l'année (du fait de l'épandage des engrais azotés).

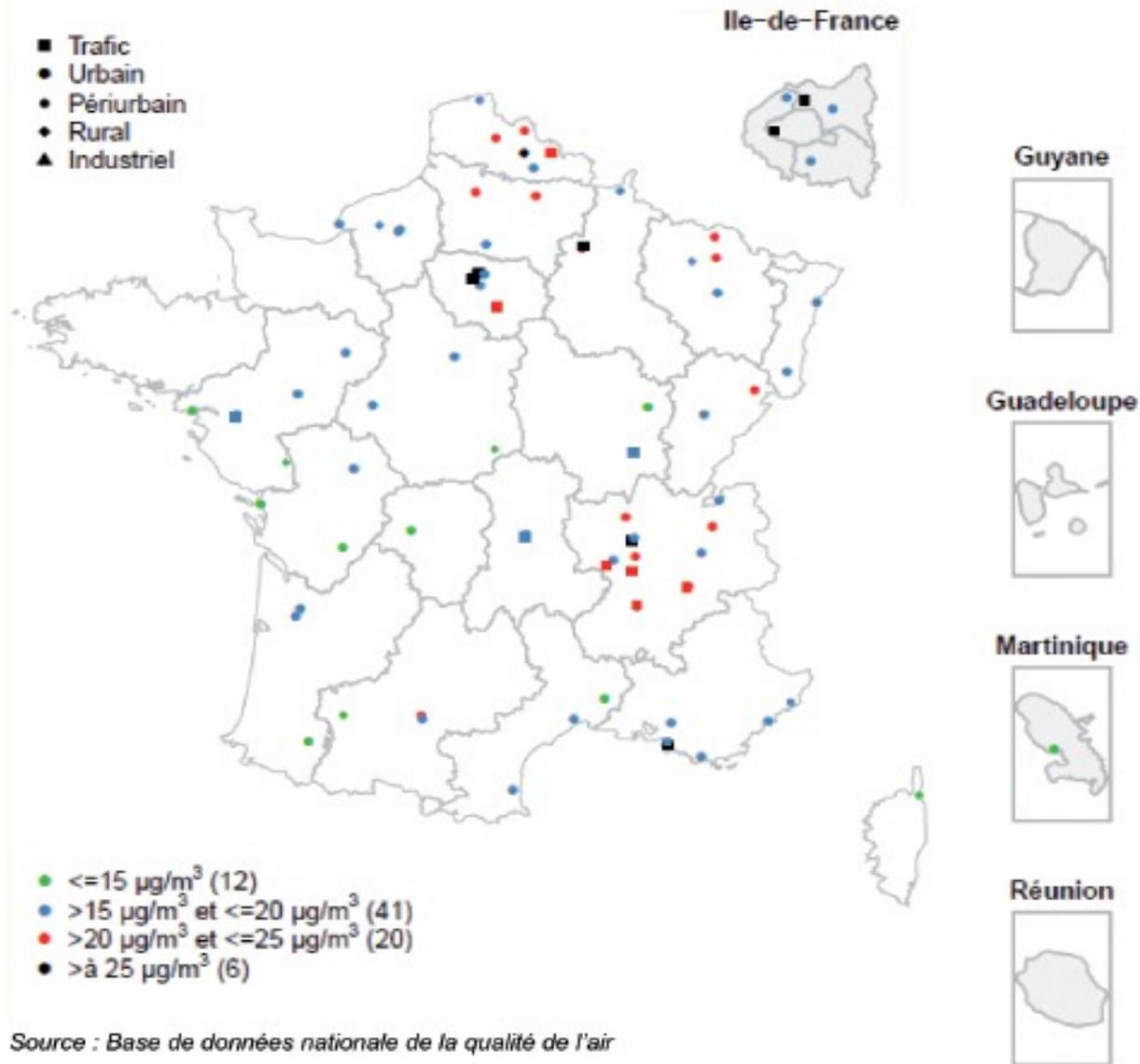
Les composés chimiques gazeux et particulaires émis par ces activités se combinent par réaction chimique. Ils forment des particules dites « secondaires » (par opposition aux particules « primaires » émises directement dans l'atmosphère), de différentes tailles, qui peuvent perdurer dans l'atmosphère pendant plusieurs jours et ainsi se transporter sur de longues distances (plusieurs centaines voire milliers de kilomètres).

Dans le cas des épisodes printaniers, l'analyse de la composition chimique de ces épisodes et nos simulations lors des dernières années montrent la part importante, parfois prépondérante, de nitrate d'ammonium qu'elles contiennent. Il résulte de réactions chimiques entre les oxydes d'azote émis notamment par les activités de transport, et l'ammoniac, disponible dans l'atmosphère par volatilisation, en particulier lorsque les températures sont douces, suite aux épandages d'engrais.

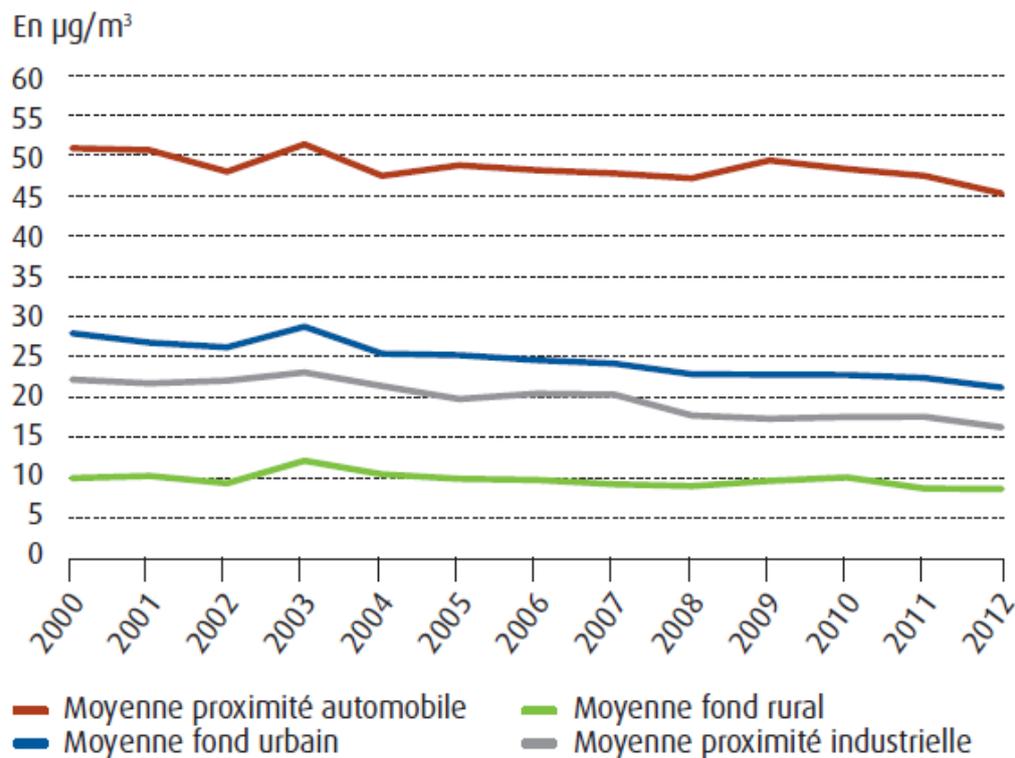
Il n'y a pas d'ambiguïté sur le caractère transfrontalier de ces phénomènes d'import et d'export de pollution et il apparaît indispensable que la gestion de tels épisodes intègre la coopération régionale ou internationale.

2) Les pics de pollutions en particules fines (PM) en France

FIGURE 3. SITUATION DES SITES DE MESURES DES PM_{2,5} EN 2011 PAR RAPPORT À LA VALEUR LIMITE ANNUELLE DE 2015 (25 µg/m³)

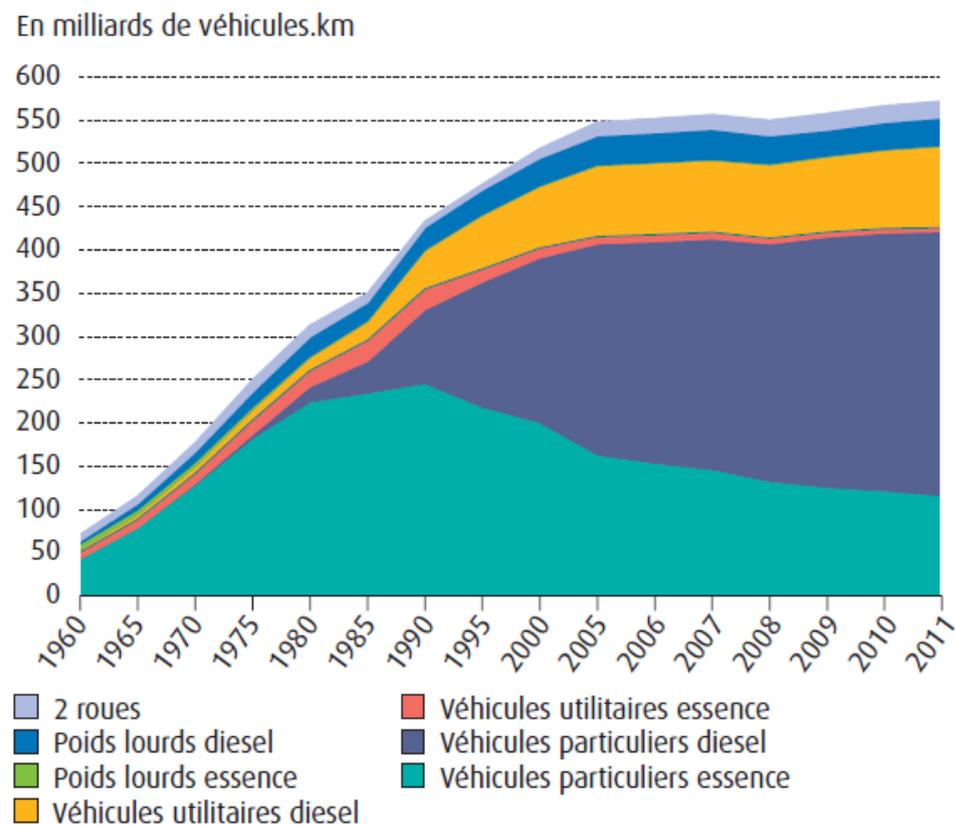


3) Oxydes d'azote (NO, NO₂)



Note : France métropolitaine et DOM.

Source : base de données nationale de la qualité de l'air, juillet 2013 (gérée par le LCSQA depuis le 1^{er} janvier 2011 et par l'Ademe avant cette date). Traitements : SOeS, 2013.



Note : France métropolitaine

Source : Citepa (format Secten, mise à jour avril 2013).

En France, la source principale de la pollution azotée (NO + NO₂) est le trafic routier.

Sous l'effet de la législation, les performances des véhicules se sont bien améliorées dans les années 1990 (ex : pots catalytiques).

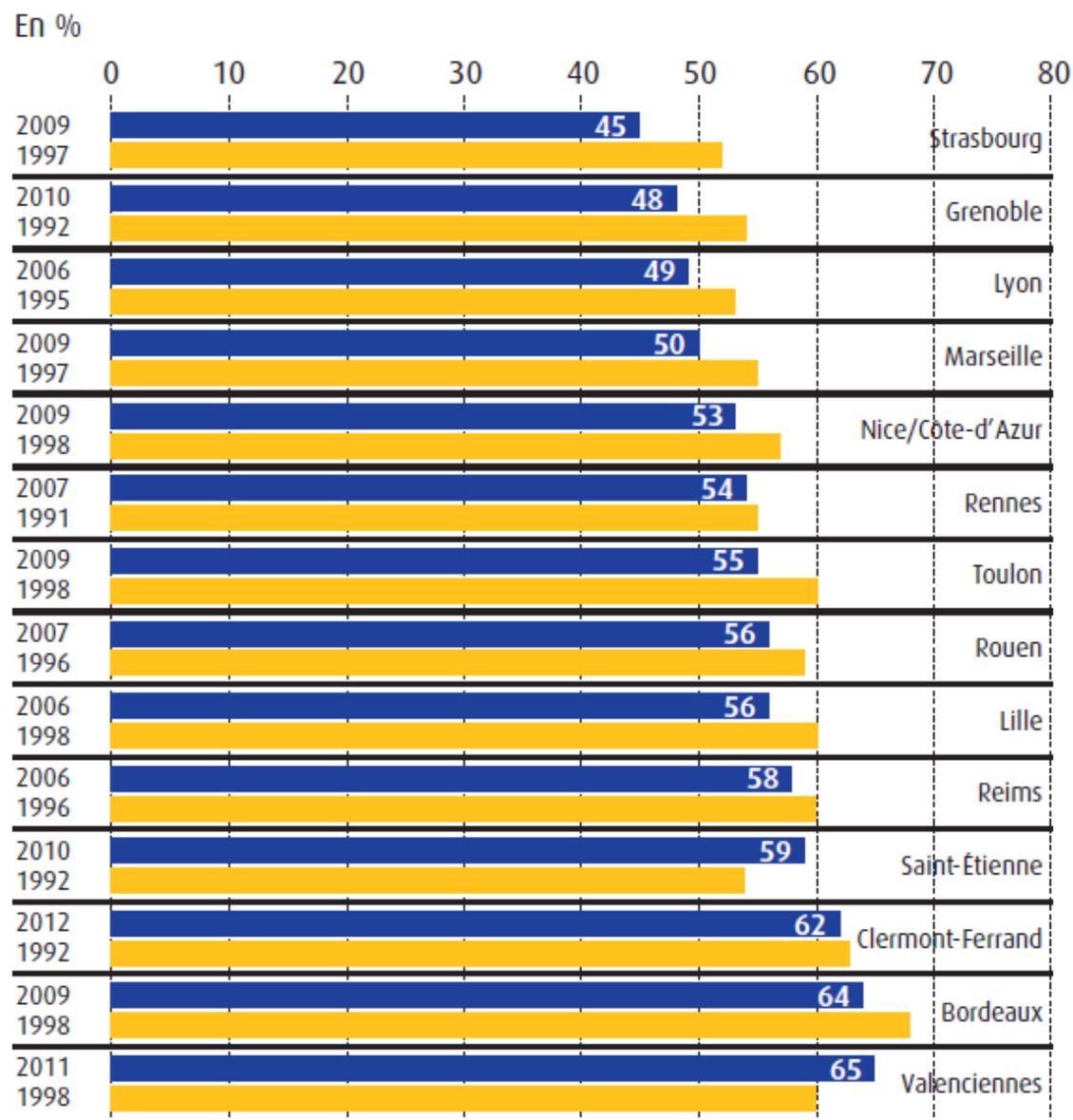
Depuis, les progrès technologiques sont moindres.

Les constructeurs ont des difficultés à respecter des réglementations plus exigeantes (ex Volkswagen).

En ville, à proximité des axes à fort trafic, les dépassements de seuils recommandés par l'OMS sont nombreux.

3) Oxydes d'azote (NO, NO₂)

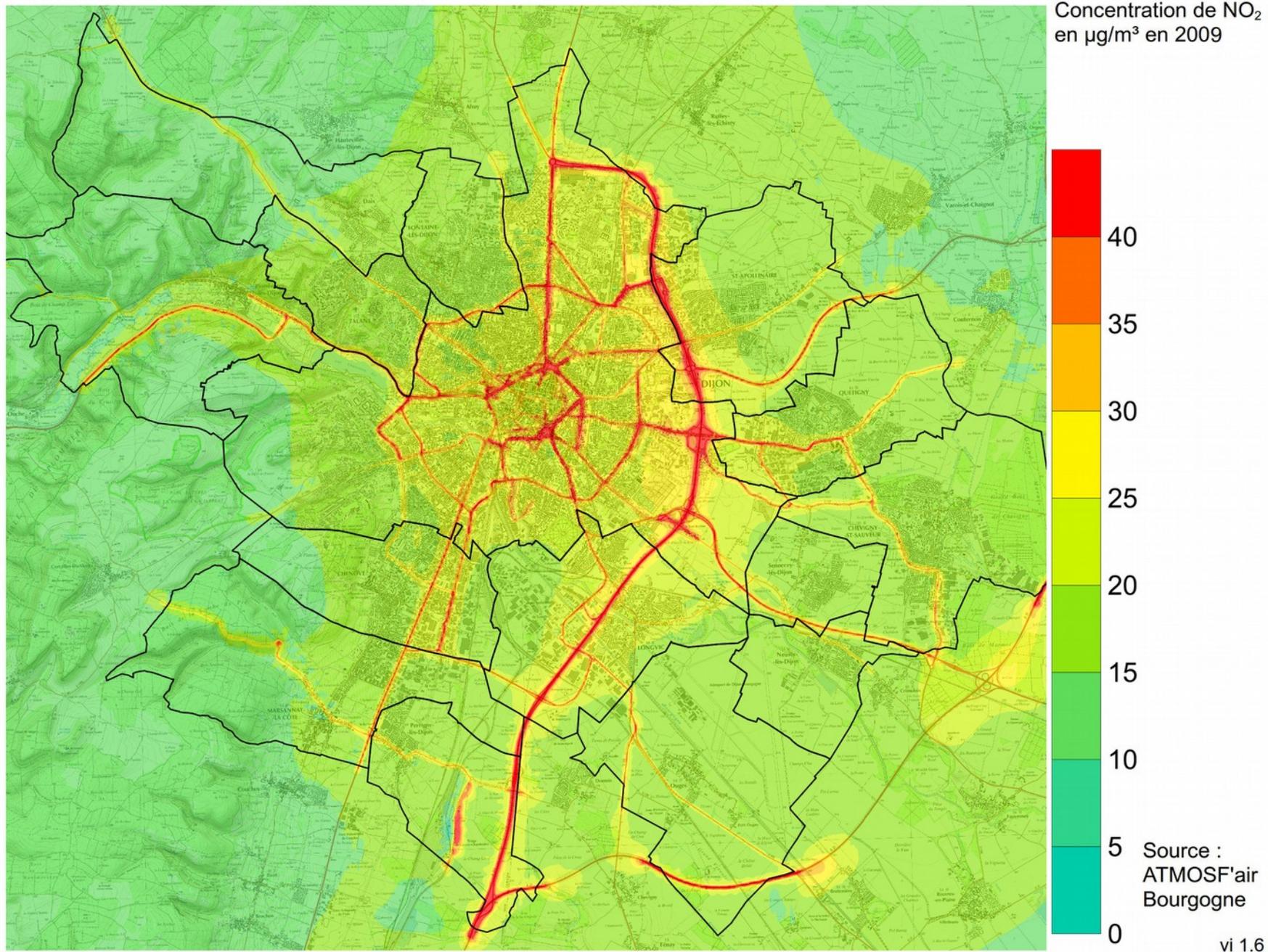
Évolution de la part modale de la voiture dans quelques agglomérations françaises



Source : Certu, enquêtes ménages déplacement standard.

En ville, la piste principale pour améliorer la qualité de l'air passe par la réduction du trafic

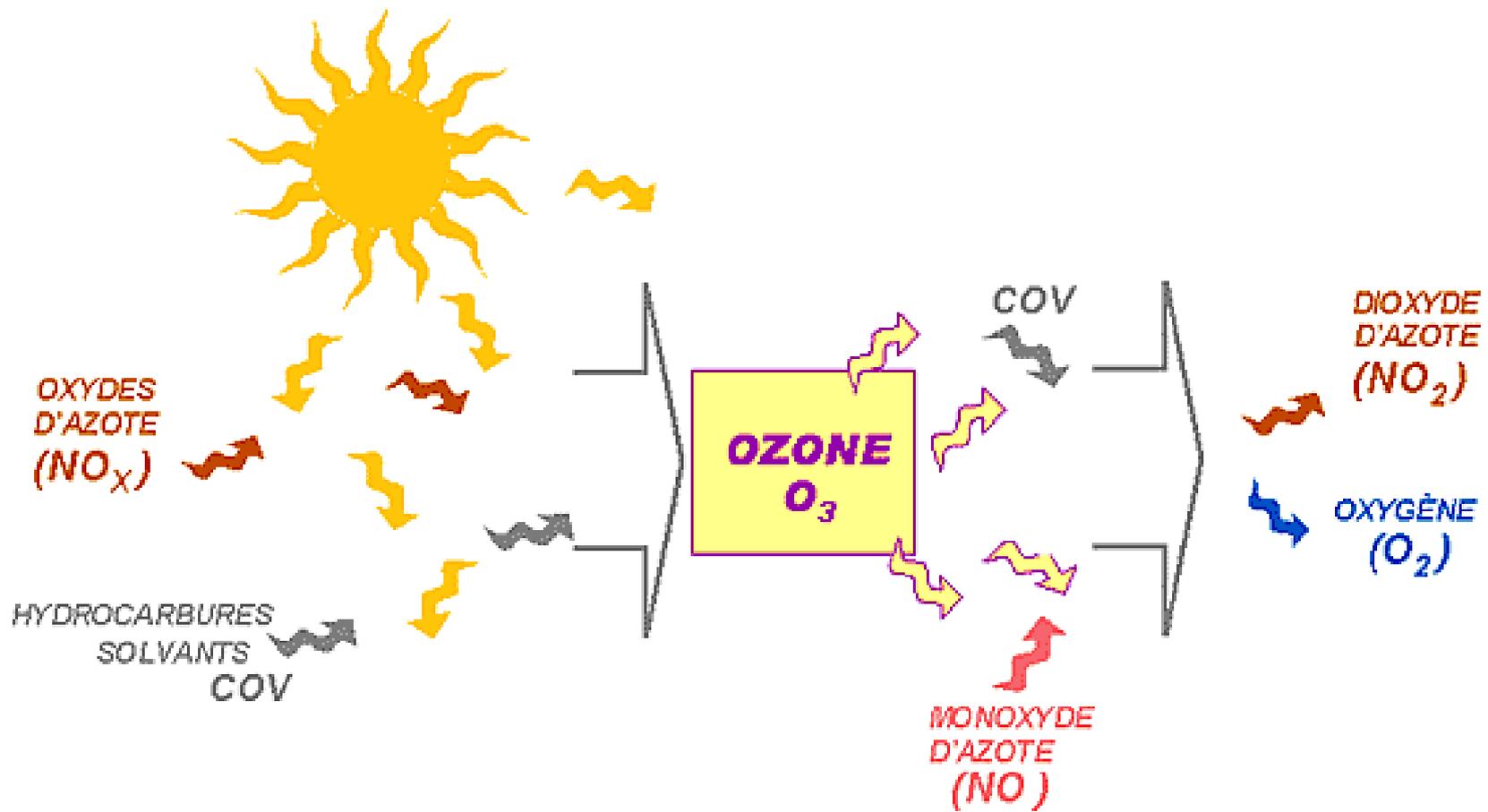
3) Oxydes d'azote (NO, NO₂)



En attendant, sachons que, pour les plantes comme pour les hommes, les grands boulevards sont pollués....

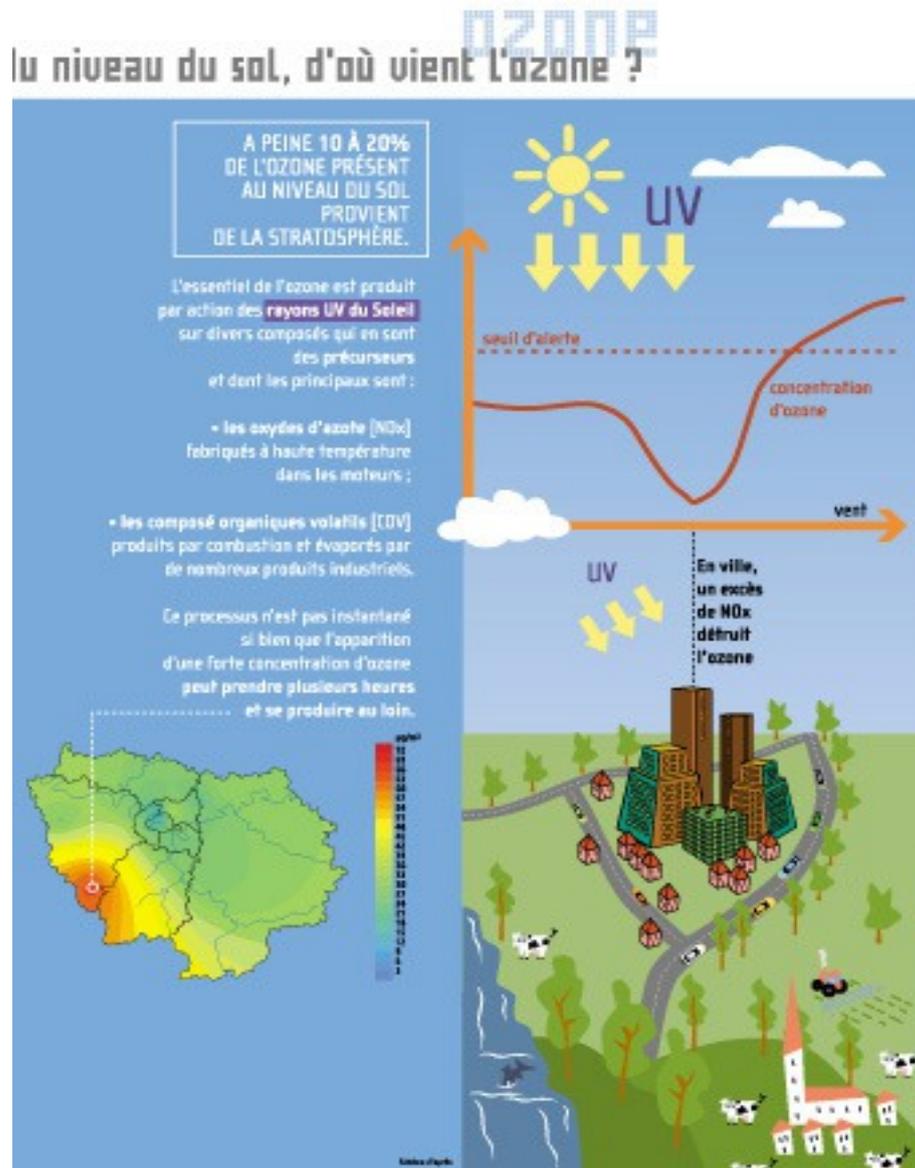
4) Ozone (O_3)

L'ozone : un polluant secondaire



4) Ozone (O₃)

L'ozone en ville : complexe.....



5) Gaz à Effet de Serre (GES)

Gaz à effet de serre en ville

(exemple des flux de CO₂ à Rome, Italie)



La tour Calandrelli dans le centre de Rome

L'équipement micro-météorologique
installé au sommet de la tour



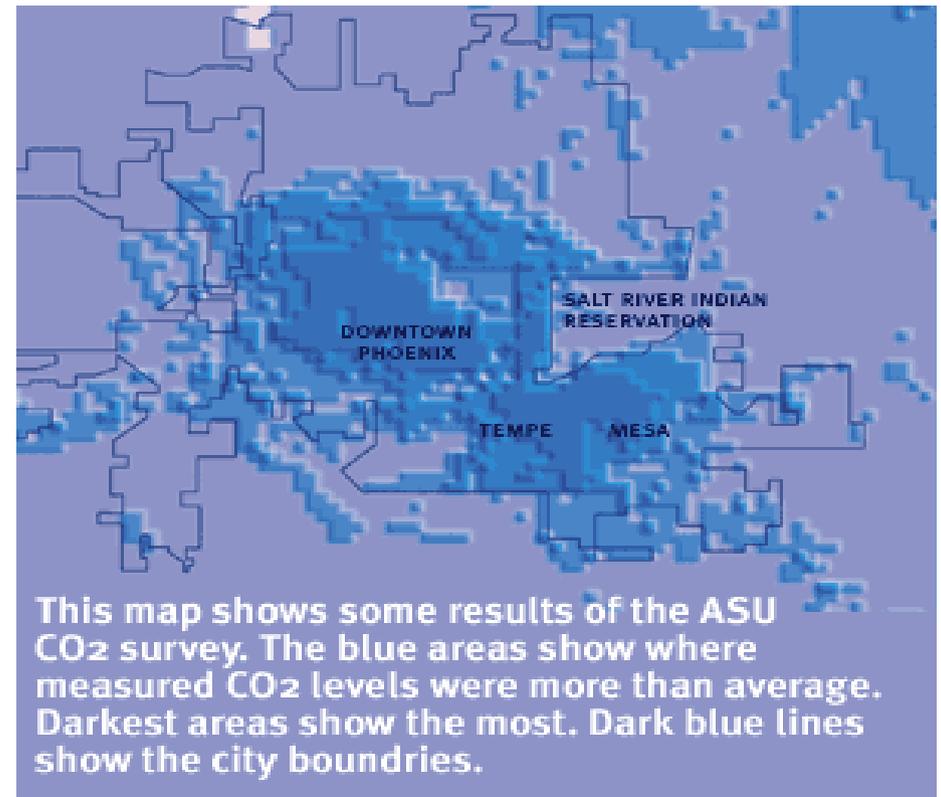
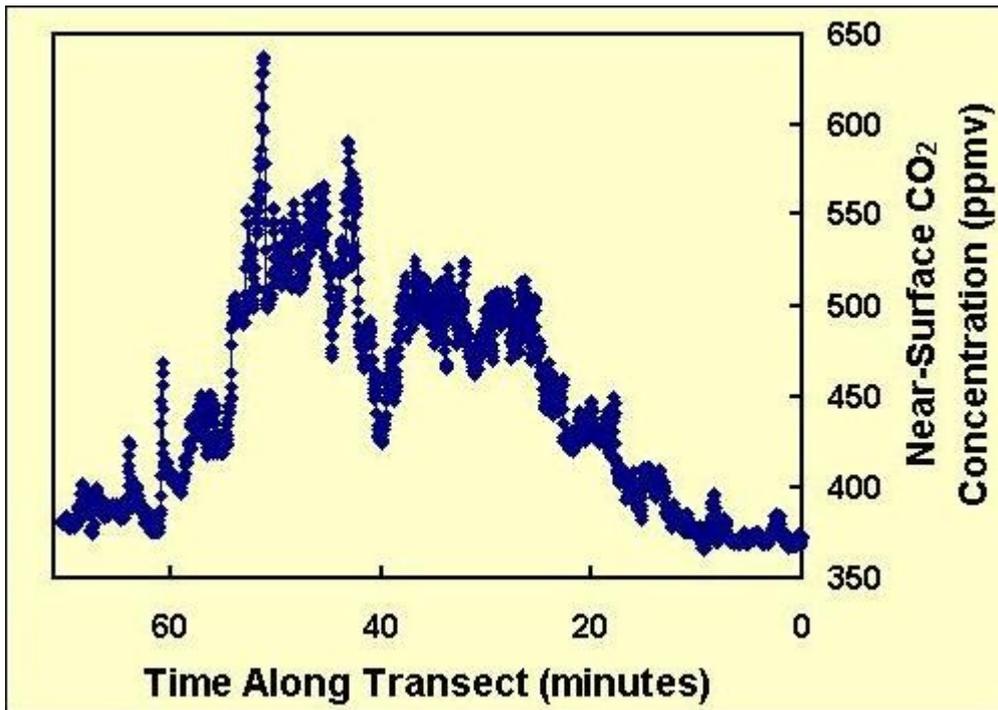
Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°8, December 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

5) Gaz à Effet de Serre (GES)

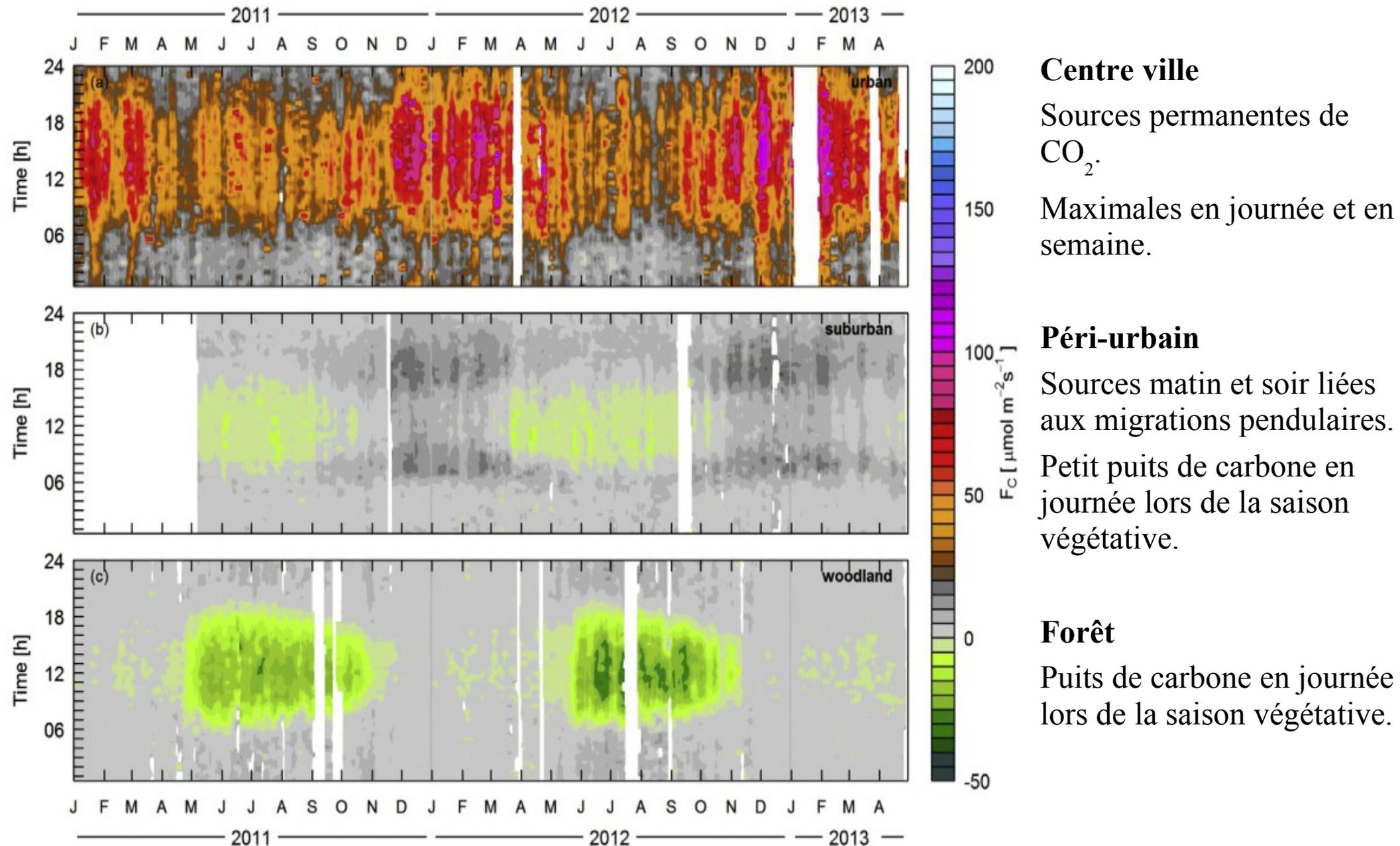
Dôme urbain de CO₂

Concentrations de CO₂ à Phoenix, États Unis



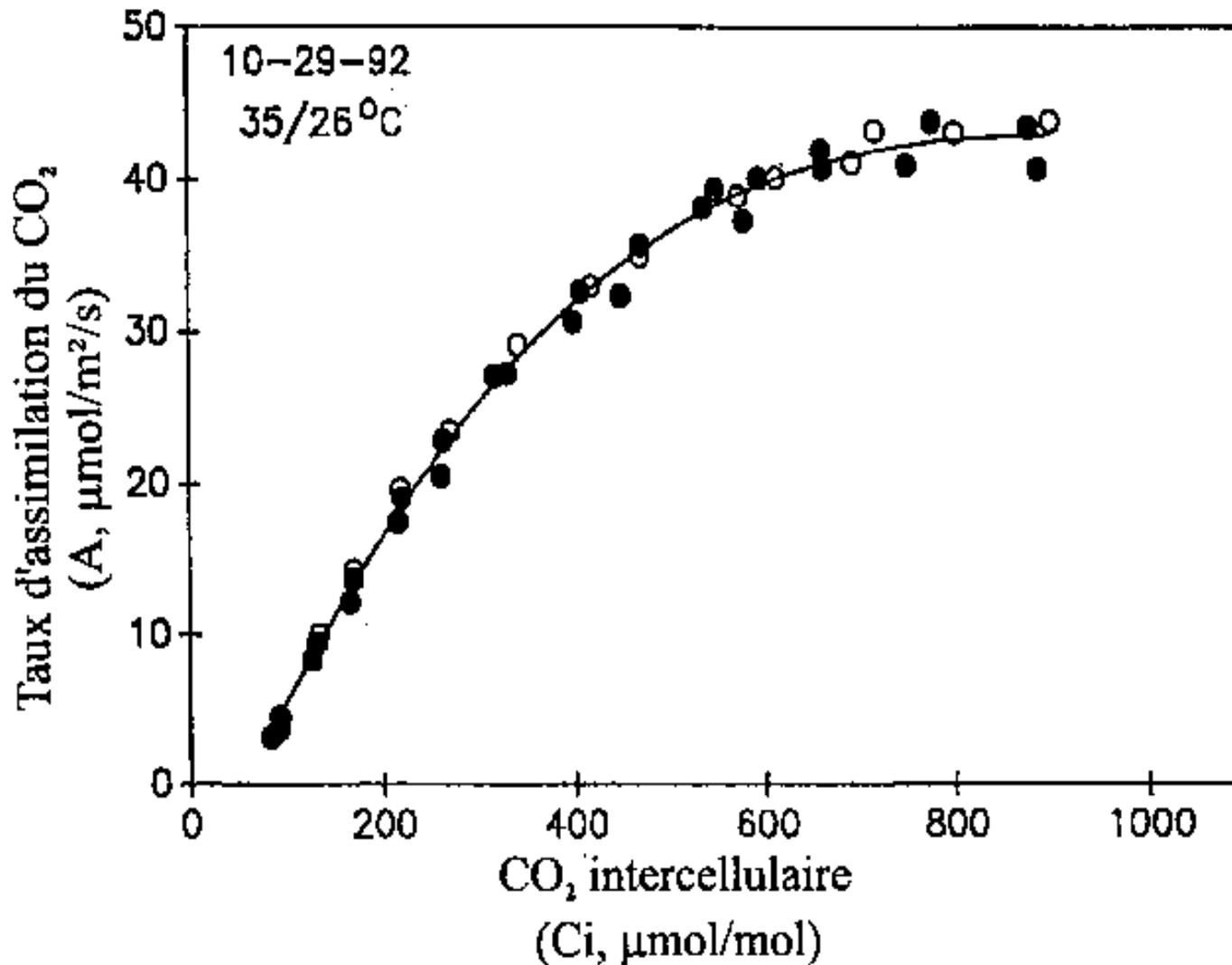
5) Gaz à Effet de Serre (GES)

Flux de CO₂



5) Gaz à Effet de Serre (GES)

Taux d'assimilation du CO₂ par photosynthèse en fonction du CO₂ intercellulaire



Taux d'assimilation du CO₂ par photosynthèse (A) en fonction du CO₂ intercellulaire (C_i) pour des feuilles uniques, attachées ou complètement déployées de plants de riz cultivés à des concentrations en CO₂ de 330 (symboles vides) ou 660 (symboles pleins) µmol/mol et des températures de l'air (jour/nuit) de 35/26°C.

Les mesures ont été faites le 29 octobre 1992 sous une radiation de 1200 à 1300 µmol/mol(photon)/m²/s.

Adapté de Allen et al. (1995).