

Observatoire régional de santé d'Ile-de-France

Les composés organiques volatils (COV)

Etat des lieux : définition, sources

d'émissions, exposition, effets sur la santé

Décembre 2007

Cette étude a été réalisée à l'ORS d'Ile-de-France par

Dorothée GRANGE, chargée d'études,

Sabine HOST, chargée d'études,

sous la direction d'Isabelle GREMY, directrice

Remerciements

Nous tenons à remercier Airparif pour sa précieuse contribution concernant l'évaluation de l'exposition de la population francilienne aux COV, notamment pour nous avoir fourni les cartes de concentrations de benzène en Ile-de-France.

Nos remerciements vont tout particulièrement à Hélène Marfaing, Laurent Gauvin et Julie Gauduin pour le temps qu'ils nous ont consacré et pour leurs explications sur les mesures de COV réalisées par Airparif.

Nous remercions également l'ensemble des personnes d'Airparif qui ont relu attentivement ce rapport.

L'Observatoire régional de santé d'Ile-de-France est subventionné par l'Etat
(Préfecture de région et Direction régionale des affaires sanitaires et sociales d'Ile-de-France)
et par le Conseil régional d'Ile-de-France.

Sommaire

Sommaire	3
Introduction	7
Définition et propriétés	11
Des définitions hétérogènes	13
Une multitude de substances aux propriétés variées	15
Des précurseurs d’ozone dans la basse atmosphère	16
Un rôle dans l’appauvrissement de la couche d’ozone	17
Un rôle dans l’effet de serre	19
Sources d’émissions en Ile-de-France	21
Les émissions de COV en Ile-de-France	23
Les transports, principale source de COV	31
Des sources industrielles, tertiaires et domestiques variées	37
Des sources biogéniques non négligeables	40
Des mesures engagées pour la réduction des émissions.....	41
Exposition de la population francilienne	49
Une exposition difficile à évaluer	51
Les méthodes de mesures des COV dans l’air	52
L’exposition de fond aux COV en Ile-de-France	55
Des expositions de proximité très diverses	57
Effets sur la santé	71
Le devenir des COV dans l’organisme	75
Des effets aigus généralement transitoires	76
De multiples effets chroniques	78
Une évaluation des risques sanitaires difficile à mettre en oeuvre.....	88
Conclusion	95
Références	99
Annexes	111
Glossaire	123

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Classification des COV selon leur température d'ébullition</i>	14
<i>Tableau 2. Propriétés de quelques COV</i>	14
<i>Tableau 3. Classification des COV selon leur rôle dans la production d'ozone</i>	18
<i>Tableau 4. Potentiel de création d'ozone photochimique de quelques COV</i>	18
<i>Tableau 5. Nomenclature européenne des activités émettrices (SNAP 97c)</i>	24
<i>Tableau 6. Nomenclature des activités émettrices selon le format SECTEN du CITEPA</i>	24
<i>Tableau 7. Emissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités</i>	26
<i>Tableau 8. Emissions de COV par département francilien en 2000</i>	28
<i>Tableau 9. Emissions de COV par département francilien en 2000 selon les secteurs d'activités</i>	28
<i>Tableau 10. Emissions de COV selon les familles de composés en France métropolitaine en 2004 (kt)</i>	30
<i>Tableau 11. Contributions des différentes phases d'un cycle LTO aux émissions de COV à Roissy CDG et Orly</i>	36
<i>Tableau 12. Emissions de COV en 2000 pour les trois principaux aéroports franciliens et contribution du trafic aérien et des activités connexes dans le périmètre de l'aéroport</i>	36
<i>Tableau 13. Estimation de l'émission biogénique moyenne annuelle en France en fonction du type de COV pour la période 1994-1998</i>	42
<i>Tableau 14. Estimation de l'émission biogénique moyenne annuelle à l'échelle départementale et nationale pour la période 1994-1998</i>	42
<i>Tableau 15. Evolution des rejets des principaux émetteurs industriels de COV en Ile-de-France en tonnes par an</i>	44
<i>Tableau 16. Stations de mesures d'Airparif mesurant les BTEX à l'aide de tubes passifs</i>	54
<i>Tableau 17. Taux d'absorption et organes cibles pour les principaux COV</i>	74
<i>Tableau 18. Classification des principaux COV selon leurs effets cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction et le développement</i>	84
<i>Tableau 19. VTR pour une exposition aiguë par inhalation de l'ATSDR pour les principaux COV</i>	90
<i>Tableau 20. VTR pour les effets cancérigènes par inhalation de l'US EPA et de l'OMS pour les principaux COV</i>	90
<i>Tableau 21. VTR pour les effets chroniques non cancérigènes par inhalation de l'US EPA et de l'OMS pour les principaux COV</i>	90
<i>Tableau 22. COV pris en compte pour le travail de hiérarchisation de l'OQAI</i>	92
<i>Tableau 23. Substances potentiellement d'intérêt dans les parcs de stationnement couverts</i>	92

Liste des figures

<i>Figure 1. Répartition des émissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités</i>	26
<i>Figure 2. Répartition des émissions de COV en France métropolitaine et en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités</i>	26
<i>Figure 3. Emissions de COV dans les départements franciliens en 2000 selon les secteurs d'activités</i>	28
<i>Figure 4. Evolution des émissions de COV dans l'air entre 1998 et 2005 en France métropolitaine selon les secteurs d'activités</i>	32
<i>Figure 5. Evolution de la concentration moyenne annuelle de benzène dans l'air dans l'agglomération parisienne entre 1994 et 2006</i>	56
<i>Figure 6. Carte des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air en Ile-de-France en 2006</i>	56
<i>Figure 7. Concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air en Ile-de-France de 2004 à 2006</i>	58
<i>Figure 8. Concentrations moyennes annuelles dans l'air des cinq hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) mesurés en Ile-de-France en 2006</i>	58
<i>Figure 9. Evolution des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air sur les deux stations à proximité du trafic mesurant ce polluant, entre 1994 et 2006</i>	60
<i>Figure 10. Cartes des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air sur le réseau routier en 2004, en Ile-de-France et dans l'agglomération parisienne</i>	62

Introduction

Les Composés Organiques Volatils, ou COV, font partie des principaux polluants atmosphériques. Ils sont souvent évoqués dans le cadre de la surveillance de la pollution atmosphérique, de même que les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre ou encore l'ozone. Cependant, la définition des COV reste floue, voire ambiguë pour beaucoup. Le benzène fait partie des COV les plus connus, il s'agit du seul COV réglementé à l'heure actuelle. Mais il existe une multitude de substances répondant à la définition de COV. Ces derniers constituent un groupe de substances hétérogènes, pour la plupart encore mal connues et possédant des propriétés variées. Les études concernant les COV sont très variables d'un COV à l'autre : certains COV sont bien étudiés, d'autres très peu.

Or les COV sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé humaine : des effets aigus liés à une exposition à une forte dose sur une courte période, mais aussi des effets chroniques liés à des expositions à de faibles doses sur le long terme, tels que des effets cancérogènes ou toxiques pour la reproduction et le développement de l'homme. Leur présence dans l'atmosphère peut également entraîner des réactions chimiques, qui peuvent aboutir à la formation ou l'accumulation dans l'environnement d'autres composés nocifs, tels que l'ozone. Il est donc essentiel d'étudier ces substances et d'en évaluer les risques sanitaires pour la population.

La qualité de l'air est un véritable enjeu de santé publique et constitue une réelle préoccupation des décideurs, en particulier en Ile-de-France. En effet, l'Ile-de-France bénéficie d'un réseau routier très dense. Elle compte plus de quatre millions de voitures particulières dont plus d'un million en motorisation diesel, sans oublier le très important trafic de poids lourds. Le secteur des transports est le premier responsable des émissions de polluants en Ile-de-France, ce secteur est notamment une source importante de COV. Par ailleurs, l'Ile-de-France est la première région industrielle française, avec 14,2 % des effectifs industriels répartis dans près de 7 000 établissements de plus de vingt salariés. Ces industries sont susceptibles d'émettre de nombreux polluants dans l'atmosphère, dont des COV. C'est dans ce contexte que le Conseil régional d'Ile-de-France a souhaité que l'Observatoire régional de santé d'Ile-de-France fournisse des informations sur les COV, et notamment sur leurs impacts sanitaires, en tenant compte des spécificités de la région.

Pour répondre à cette demande, il est apparu important de dresser un état des lieux des connaissances sur les COV qui porte à la fois sur la définition de ces composés, sur les sources d'émissions en Ile-de-France, sur l'exposition de la population francilienne et sur les effets sur la santé des COV. L'objectif de ce rapport est donc de répondre aux questions suivantes :

- qu'entend-on exactement par COV ? Quelles substances se cachent derrière ce terme ? A quelles familles chimiques appartiennent-elles et quelles sont leurs principales propriétés ?

- quelles sont les sources d'émissions en Ile-de-France ? Quels sont les secteurs qui contribuent le plus aux émissions franciliennes ?
- quelle est l'exposition de la population francilienne aux COV, que ce soit l'exposition de fond et l'exposition à proximité des sources d'émissions ?
- quels sont les effets des COV sur la santé humaine ? Plus précisément, quel est le devenir des COV dans l'organisme ? Quels sont les effets d'une exposition aiguë et d'une exposition chronique ?
- comment évaluer les risques des COV pour la santé humaine ? Quels sont les principaux travaux relatifs à cette problématique ?

Ce rapport est composé de quatre parties qui répondent à chacun des points mentionnés ci-dessus. La première partie fait le point sur les définitions des COV, leurs propriétés et leurs effets sur l'environnement, notamment sur la production d'ozone. La deuxième partie dresse un bilan des émissions de COV en Ile-de-France et recense les principaux secteurs contribuant à ces émissions. La troisième partie se concentre sur l'évaluation de l'exposition de la population francilienne aux COV, en prenant en compte l'exposition à la pollution de fond et à la pollution de proximité. Cette partie recense, notamment, les différents contextes d'exposition à la pollution de proximité susceptibles d'être rencontrés en Ile-de-France (à proximité du trafic routier, des aéroports, des sites industriels, etc.). La quatrième partie s'intéresse aux effets des COV sur la santé. L'objectif de cette partie est de préciser le devenir des COV dans l'organisme et de décrire leurs principaux effets sur la santé humaine, lorsque ces effets sont connus. La démarche d'évaluation des risques sanitaires liés aux COV pour la population est également présentée.

Définition et propriétés

Des définitions hétérogènes

La définition d'un composé organique volatil (COV) repose à la fois sur des critères chimiques et physiques. En effet, les COV sont tout d'abord des composés organiques, c'est-à-dire des composés contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes (fluor, chlore, brome, iode), le soufre, le phosphore, le silicium, etc. De plus, les COV se caractérisent par leur grande volatilité : ils passent facilement de l'état liquide à l'état gazeux, dans les conditions normales de pression et de température.

Cependant, il existe des hétérogénéités, voire des ambiguïtés, dans les définitions couramment utilisées pour les COV. Ces hétérogénéités s'expliquent en partie par le fait que différents critères peuvent être utilisés pour déterminer si un composé est volatil, notamment sa pression de vapeur saturante ou sa température d'ébullition. La température d'ébullition d'un composé correspond à la température à laquelle le changement d'état liquide-gaz a lieu. Aux températures supérieures à cette température d'ébullition, le composé n'est plus que sous sa forme gazeuse. Donc, plus la température d'ébullition d'un composé est faible, plus ce composé est volatil. La pression de vapeur saturante correspond, quant à elle, à la pression de la phase gazeuse du composé se trouvant en équilibre au-dessus de sa phase liquide, à une température donnée. Plus la pression de vapeur saturante d'un composé est élevée, plus le composé est volatil. Il est donc possible de raisonner à partir de l'un ou l'autre des critères pour aboutir à une définition des COV.

Ainsi, une définition précise, et souvent reprise, est celle de la directive européenne n° 1999/13/CE¹ qui repose sur la pression de vapeur saturante. Cette directive définit un composé organique volatil comme « un composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 K [c'est-à-dire 20 °C] ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières ». Une autre façon de définir les COV est celle du décret n° 2006-623² qui repose sur la température d'ébullition. D'après ce décret, les COV regroupent tous les composés organiques dont le point d'ébullition, mesuré à la pression standard de 101,3 kPa, est inférieur ou égal à 250 °C. De même, la norme NF ISO 16000-6 définit les COV selon leur température d'ébullition et distingue, d'après la classification adoptée par l'OMS en 1989, les composés organiques très volatils, volatils et semi-volatils (OQAI, 2001). Le Tableau 1 présente cette classification.

¹ directive n° 1999/13/CE du Conseil européen du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

² décret 2006-623 du 29 mai 2006 relatif à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules.

Tableau 1. Classification des COV selon leur température d'ébullition

Volatilité	Température d'ébullition
Très volatils	< [50 - 100 °C]
Volatils	[50 - 100 °C] à [240 - 260 °C]
Semi-volatils	[240 - 260 °C] à [380 - 400 °C]

Source : OQAI, 2001

Tableau 2. Propriétés de quelques COV

Famille chimique	Nom usuel	Nom IUPAC *	N° CAS **	Formule brute	Pression de vapeur saturante (Pa à 20°C)	Apparence
Alcanes	éthane	éthane	74-84-0	C ₂ H ₆	3,85.10 ⁶	Gaz incolore, inodore
	n-hexane	n-hexane	110-54-3	C ₆ H ₁₄	1,6.10 ⁴	Liquide incolore, odeur caractéristique
Alcènes	éthylène	éthène	74-85-1	C ₂ H ₄	8,1.10 ⁶	Gaz incolore, odeur caractéristique
	propylène	propène	115-07-1	C ₃ H ₆	1,16.10 ⁶	Gaz incolore
	1,3-butadiène	1,3-butadiène	106-99-0	C ₄ H ₆		Gaz incolore
Alcynes	acétylène	éthyne	74-86-2	C ₂ H ₂	4,5.10 ⁶	Gaz incolore, inodore
Alcools	méthanol	méthanol	67-56-1	CH ₄ O	1,23.10 ⁴	Liquide incolore, odeur agréable
	éthylène glycol	éthane-1,2-diol	107-21-1	C ₂ H ₆ O ₂	7	Liquide incolore
	propylène glycol	propane-1,2-diol	57-55-6	C ₃ H ₈ O ₂	10,6	Liquide incolore, inodore
Dérivés aminés	éthylamine	éthylamine	75-04-7	C ₂ H ₇ N	1,17.10 ⁵	Gaz incolore, forte odeur
Dérivés nitrés	2-nitropropane	2-nitropropane	79-46-9	C ₃ H ₇ NO ₂	1,73.10 ³	Liquide incolore, odeur agréable
Hydrocarbures halogénés	dichlorométhane	dichlorométhane	75-09-2	CH ₂ Cl ₂	4,65.10 ⁴	Liquide incolore, odeur éthérée
	trichlorométhane	trichlorométhane	67-66-3	CHCl ₃	2,13.10 ⁴	Liquide incolore, odeur éthérée
	trichloroéthylène	trichloroéthylène	79-01-6	C ₂ HCl ₃	8,6.10 ³	Liquide incolore, odeur douce
	tétrachloroéthylène	tétrachloroéthylène	127-18-4	C ₂ Cl ₄	1,9.10 ³	Liquide incolore, odeur caractéristique
Hydrocarbures aromatiques	benzène	benzène	71-43-2	C ₆ H ₆	9,97.10 ³	Liquide incolore, odeur aromatique
	toluène	méthylbenzène	108-88-3	C ₇ H ₈	3,8.10 ³	Liquide incolore, odeur caractéristique
	o- xylène	1,2-diméthylbenzène	95-47-6	C ₈ H ₁₀	663	Liquide incolore, odeur caractéristique
	éthylbenzène	éthylbenzène	100-41-4	C ₈ H ₁₀	900	Liquide incolore, odeur aromatique
Aldéhydes	formaldéhyde	méthanal	50-00-0	CH ₂ O	4,4.10 ⁵	Gaz incolore, odeur piquante
	acétaldéhyde	éthanal	75-07-0	C ₂ H ₄ O	1,01.10 ⁵	Liquide incolore, odeur fruitée
Cétones	acétone	2-propanone	67-64-1	C ₃ H ₆ O	2,4.10 ⁴	Liquide incolore, odeur suave
Ethers	éther éthylique	éther diéthylique	60-29-7	C ₄ H ₁₀ O	5,89.10 ⁴	Liquide incolore, odeur sucrée piquante
	éthylène glycol n-butyl éther (EGBE)	2-butoxyéthanol	111-76-2	C ₆ H ₁₄ O ₂	100	Liquide incolore, odeur éthérée
Esters	acétate de méthyle	éthanoate de méthyle	79-20-9	C ₃ H ₆ O ₂	2,17.10 ⁴	Liquide incolore, odeur fruitée

* IUPAC = nomenclature de référence, développée par l'International Union of Pure and Applied Chemistry

** n° CAS = numéro d'enregistrement auprès du Chemical Abstracts Service, une division de l'American Chemical Society. Cette numérotation sert de référence en chimie.

Source : Fiches toxicologiques de l'INERIS et de l'INRS

D'autres définitions plus vagues, ou du moins plus générales, peuvent être retrouvées dans la réglementation. Dans ce sens, d'après la directive NEC (National Emission Ceilings) n° 2001/81/CE³, les COV sont tous les composés organiques découlant des activités humaines, autres que le méthane, et capables de produire des oxydants photochimiques par réaction avec des oxydes d'azote en présence de lumière solaire.

En général, le méthane n'est pas pris en compte dans les études sur les COV en raison de sa large présence naturelle dans l'air et de son innocuité. En effet, le méthane est notamment issu de la décomposition bactérienne de la matière organique. De plus, il est pratiquement inerte du point de vue photochimique. On parle alors parfois de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM). Dans ce rapport, le méthane sera systématiquement exclu et, pour simplifier, nous parlerons de COV et non de COVNM.

Une multitude de substances aux propriétés variées

D'après les définitions des COV, un très grand nombre de composés organiques peuvent être considérés comme volatils. Ce sont plutôt des petites molécules, qui possèdent peu de liaisons entre molécules, et il peut s'agir de gaz ou de liquide à température ambiante. Toutes les familles chimiques sont susceptibles d'être concernées. Ainsi, les COV appartiennent à des familles chimiques très diverses telles que les hydrocarbures (alcane, alcène, alcyne, hydrocarbures aromatiques), les alcools, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les esters, les éthers, les dérivés chlorés, nitrés, aminés, etc. Plusieurs milliers de substances commercialisées répondent à la définition de COV. Parmi celles-ci, plusieurs centaines sont largement utilisées, dans l'industrie notamment, et sont susceptibles d'être retrouvées dans les différents milieux (air, eau, sol). Ainsi, plus de 400 COV sont identifiables dans l'air (PPA, 2006). Parmi les principaux COV étudiés, on retrouve le benzène, le toluène, les isomères du xylène (m-xylène, o-xylène, p-xylène), l'éthylbenzène, le formaldéhyde, etc. Le Tableau 2 présente les propriétés de quelques COV.

Les COV peuvent être inodores ou avoir une odeur plus ou moins caractéristique. Parmi les plus odorants, on retrouve les amines, les composés soufrés, les dérivés oxygénés (aldéhydes, cétones) et

³ directive NEC (National Emission Ceilings) n° 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2001 fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques

quelques composés aromatiques. En outre, leur volatilité leur confère l'aptitude à se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission.

Des précurseurs d'ozone dans la basse atmosphère

Dans la troposphère, en d'autres termes la basse atmosphère qui va du sol à 10 km d'altitude, les concentrations d'ozone devraient être naturellement faibles. Cependant, des réactions photochimiques, c'est-à-dire nécessitant l'intervention de la lumière, peuvent aboutir à la formation d'ozone qui est nocif à cette altitude pour la santé humaine. En effet, l'ozone résulte de la transformation chimique, sous l'effet des rayonnements solaires, de précurseurs qui sont émis par les activités humaines et par la nature. Il s'agit principalement de l'oxydation des COV en présence d'oxydes d'azote (NO et NO₂). Les réactions chimiques mises en jeu sont des réactions en chaîne, initiées par le radical OH.

Ces réactions photochimiques nécessitent des conditions climatiques particulières, notamment un fort ensoleillement, des températures élevées, une faible humidité et l'absence de vent, ce qui explique le fait que les concentrations d'ozone soient généralement plus élevées en été. De plus, la production d'ozone dépend des concentrations en oxydes d'azote et en COV, et plus précisément du rapport COV/NO_x. Or, dans les centres urbains, les concentrations en NO_x sont généralement élevées, on parle alors de régime saturé et la vitesse de production d'ozone est relativement faible, excepté dans le cas de conditions météorologiques extrêmes (stagnantes ou de recirculations d'air qui favorisent la production locale d'ozone). Quand le panache s'éloigne du centre urbain, la concentration en NO_x diminue du fait de leur faible durée de vie et de leurs faibles émissions hors des grandes agglomérations. En revanche, les teneurs en COV persistent car leur durée de vie est plus longue et les COV émis en milieu urbain s'ajoutent aux COV émis par la végétation rurale. Donc le rapport COV/NO_x augmente considérablement et la production d'ozone est plus rapide. C'est pourquoi, il arrive qu'en zone rurale la teneur en ozone soit supérieure à celle des zones urbaines voisines, d'autant plus que certains régimes de vent peuvent déplacer l'ozone des centres les plus pollués vers les banlieues et les campagnes.

Tout COV peut contribuer à la formation d'ozone. Cependant, cette contribution varie de manière importante entre les différents COV, en fonction notamment de leur capacité à réagir avec le radical OH. Ainsi, les hydrocarbures très peu réactifs tels le méthane, le méthanol, l'éthane et certains hydrocarbures chlorés n'ont pratiquement aucune part dans ce processus. En revanche, d'autres composés comme les alcènes (éthylène, propylène, etc.), certains alcanes ou certains composés aromatiques contribuent plus fortement à la formation d'ozone. Le Tableau 3 classe les familles chimiques de COV en trois groupes selon leur rôle dans la production d'ozone. Pour estimer cette

contribution, un potentiel de création d'ozone photochimique (PCOP) a été défini. Il s'agit d'une échelle de réactivité relative qui permet notamment de classer les COV en fonction de leur contribution. Ces potentiels, déterminés par modélisations ou expériences de laboratoire, sont variables dans l'espace et le temps. La référence pour calculer le PCOP est l'éthylène dont le potentiel vaut arbitrairement 100 (Tableau 4). Cependant, de nombreuses divergences persistent au sein de la communauté scientifique sur les valeurs des PCOP et, pour la Commission Européenne, les connaissances scientifiques sont encore insuffisantes pour en faire un usage législatif.

Un rôle dans l'appauvrissement de la couche d'ozone

Dans la stratosphère, qui va de 10 à 50 km au-dessus de la surface de la terre, des réactions photochimiques auxquelles certains UV du rayonnement solaire soumettent l'oxygène entraînent la formation d'une couche d'ozone. Cette dernière filtre une partie des UV et constitue ainsi un écran protecteur essentiel contre ces rayons particulièrement nocifs pour l'homme et de nombreux êtres vivants.

Cependant, l'émission dans l'atmosphère de certains produits chimiques industriels peut causer l'appauvrissement de la couche d'ozone. On parle alors de substances appauvrissant la couche d'ozone ou SACO. La plupart des SACO partagent certaines caractéristiques communes. Tout d'abord, elles contiennent des halogènes, principalement du chlore et/ou du brome, catalyseurs puissants favorisant la destruction de l'ozone en oxygène. De plus, ce sont des composés stables, c'est-à-dire qu'ils ne se détruisent pas facilement dans les couches inférieures de l'atmosphère. Par conséquent, une longue accumulation s'opère dans les courants atmosphériques jusqu'à la stratosphère. Au niveau de cette dernière, les caractéristiques physico-chimiques ambiantes permettent la décomposition des SACO par la lumière du soleil, libérant ainsi des atomes de chlore ou de brome qui détruisent l'ozone par un cycle catalytique complexe.

Les SACO regroupent un ensemble de familles de molécules largement utilisées dans de nombreux produits pour tirer profit de leurs propriétés physiques. Les rejets de ces substances sont principalement d'origine industrielle. Les plus abondantes et les plus destructrices sont les chlorofluorocarbures (CFC). Ces gaz sont composés de carbone, de chlore et de fluor et sont extrêmement stables. De par leurs propriétés (grande stabilité, inflammabilité et capacité d'absorber beaucoup de chaleur), ils présentent de nombreuses applications, notamment comme fluides frigorigènes dans les systèmes de refroidissement et de conditionnement d'air (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs...), comme gaz propulseurs des bombes aérosols ou encore comme agent de

Tableau 3. Classification des COV selon leur rôle dans la production d'ozone

Groupe	COV
Rôle assez important	Alcènes, Aromatiques, Alcane > C6 (sauf diméthylpentane), Aldéhydes (sauf benzaldéhyde), COV naturels (isoprène)
Rôle peu important	Alcane, Cétones, Alcools, Esters
Rôle très peu important	Alcane (méthane, éthane), Alcynes (acétylène), Aromatiques (benzène), Aldéhydes (benzaldéhyde), Cétones (acétone), Alcools (méthanol), Esters (acétate de méthyl), Hydrocarbures chlorés (méthylchloroforme, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène)

Source : AIRFOBEP, 2005

Tableau 4. Potentiel de création d'ozone photochimique de quelques COV

Famille chimique	COV	PCOP *	Durée de vie dans l'atmosphère
Alcynes	Acétylène	28	-
Alcènes	Ethylène	100	1,3 j
	Propène	108	-
Aromatiques	Benzène	33	9,4 j
	Toluène	77	1,9 j
	Ethylbenzène	81	1,6 j
	m-xylène	109	11,8 h
	p-xylène	95	19,4 h
	o-xylène	83	20,3 h

* PCOP = potentiel de création d'ozone photochimique (source INERIS)

Source : AIRFOBEP, 2005

gonflage, de nettoyage de pièces électroniques ou en tant que solvants. Parmi les autres gaz courants, on retrouve les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), les halons et d'autres molécules isolées telles que le bromochlorométhane, le bromure de méthyle, le tétrachlorure de carbone, etc. Des substituts potentiels à long terme des SACO ont été identifiés : il s'agit des PFC (hydrocarbures perfluorés) et des HFC (hydrofluorocarbures) qui ne contiennent ni chlore, ni brome et ne participent donc pas de façon notable à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Dans le cadre de la Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone (1985) et du protocole de Montréal (1987), un accord visant l'interdiction de la production de substances appauvrissant la couche d'ozone a été conclu. Une étape importante du Protocole a été franchie le 1^{er} janvier 1996 avec l'interdiction, pour tous les pays industrialisés, de produire ou d'importer les substances les plus nocives pour la couche d'ozone, dont les CFC. Les mesures prises ont conduit à un ralentissement de la croissance de ces composés dans la basse atmosphère et une décroissance s'est amorcée en 1996. Dans ce sens, le protocole de Montréal est un succès.⁴ Cependant, une grande incertitude demeure en ce qui concerne le temps nécessaire pour que le système stratosphérique, largement perturbé, retrouve un équilibre qui sera probablement différent de celui des années préindustrielles. En effet, du fait du temps de transport des substances dans l'atmosphère, le contenu en chlore de la stratosphère continue à être dominé par les émissions des années 1960-1990 et l'équilibre ne sera probablement pas atteint avant les années 2050.

Un rôle dans l'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel grâce auquel la température moyenne à la surface de la Terre est de l'ordre de 15 °C. En effet, les rayons du soleil qui atteignent la Terre sont absorbés à hauteur des deux tiers et le tiers restant est renvoyé sous forme de rayonnement infrarouge vers l'espace. Une partie de ce rayonnement infrarouge est piégé par la vapeur d'eau et des gaz présents dans l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle effet de serre. Toutefois, l'accumulation de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère accentue ce phénomène et provoque un réchauffement de la planète.

Plus d'une quarantaine de GES ont été recensés par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), parmi lesquels figurent notamment la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'ozone, le protoxyde d'azote et des gaz fluorés (HFC, PFC, SF₆). Ainsi les COV sont susceptibles de participer directement à l'effet de serre (HFC, PFC) et indirectement en tant que

⁴ Le Monde du 13 septembre 2007, n°19482, p 7 : « Succès pour l'accord sur la protection de la couche d'ozone »

précurseurs d'ozone. Toutefois, la contribution des COV à l'effet de serre reste marginale. En effet, si l'on considère les six GES pris en compte dans le protocole de Kyoto du fait de leur pouvoir de réchauffement, les émissions régionales sont essentiellement dues au dioxyde de carbone (90 %). Le méthane et le protoxyde d'azote contribuent, quant à eux, à environ 8 % des émissions régionales. Concernant les gaz fluorés (PFC, HFC SF₆), bien qu'ayant de forts pouvoirs de réchauffement (plusieurs milliers de fois supérieurs à celui du CO₂), ils ne représentent que 2 % des émissions de GES (Airparif, 2006).

Sources d'émissions en Ile-de-France

Les sources d'émissions de COV sont multiples. Un cadastre des émissions franciliennes de COV a été établi pour l'année 2000, il est actuellement en cours de réactualisation. En Ile-de-France, le trafic routier et l'industrie sont les principales sources de COV, contribuant respectivement à 33,0 % et 31,4 % des émissions franciliennes de COV en 2000. Les secteurs résidentiel, tertiaire et artisanal jouent également un rôle, représentant au total 18,6 % des émissions en 2000. Enfin, les émissions provenant de la végétation (sources biogéniques) ne sont pas négligeables, elles représentaient 13,4 % des émissions en 2000 (Source : Airparif).

Les émissions de COV en Ile-de-France

Les inventaires d'émissions

Il existe une multitude de COV et leurs sources d'émissions sont tout aussi diverses. L'objectif des inventaires d'émissions est d'identifier toutes les sources et de quantifier leurs émissions. Dans le cadre de ces inventaires, les émissions sont calculées pour chacune des sources prises en compte en croisant, d'une part, un facteur d'émission unitaire caractéristique de la source (par exemple, pour le trafic routier, les facteurs d'émissions européens exprimés en g/km pour chaque catégorie de véhicule et de carburant) et, d'autre part, des informations permettant de quantifier l'activité de la source (comme le kilométrage parcouru par catégorie de véhicule ou la consommation énergétique pour une source industrielle). Airparif a été chargé de réaliser un cadastre des émissions franciliennes pour différents polluants dont l'objectif est de décrire la quantité, la nature, mais aussi la localisation des polluants atmosphériques émis par les différentes sources de pollution. Ce recensement a été réalisé pour l'année 2000 et est en cours de réactualisation dans le cadre de la révision du Plan Régional de la Qualité de l'Air. Par ailleurs, le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) établit également des inventaires d'émissions au niveau national. Ces inventaires fournissent notamment des données départementales, des données par famille de COV et permettent d'observer l'évolution des émissions depuis une vingtaine d'années.

Dans le cadre de ces inventaires, les résultats dépendent de la classification des activités émettrices utilisée. Les activités génératrices d'émissions polluantes font l'objet d'une classification européenne très précise. La nomenclature de référence est appelée SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) et sa dernière mise à jour date de 1997. Elle comprend 11 grands types d'activités qui sont présentés dans le Tableau 5 et près de 400 items pour la classification la plus fine. Cependant, d'autres méthodes de classification sont également utilisées afin de rendre compte de situations particulières. Ainsi, pour les besoins nationaux, le CITEPA a défini un format dénommé « SECTEN » (SECTeurs économiques et ENergie) visant à restituer les émissions selon un découpage correspondant aux principaux secteurs socio-économiques (industrie, résidentiel/tertiaire, agriculture, transport, etc.). Le Tableau 6 présente les secteurs utilisés dans le format SECTEN (CITEPAc, 2006). Par ailleurs, les connaissances sur les émissions évoluent et des mises à jour des données sont régulièrement effectuées par le CITEPA.

Tableau 5. Nomenclature européenne des activités émettrices (SNAP 97c)

SNAP	Types d'activités
01	Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie
02	Combustion hors industrie
03	Combustion dans l'industrie manufacturière
04	Procédés de production
05	Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique
06	Utilisation de solvants et autres produits
07	Transport routier
08	Autres sources mobiles et machines
09	Traitement et élimination des déchets
10	Agriculture et sylviculture
11	Autres sources et puits

Source : Airparif

Tableau 6. Nomenclature des activités émettrices selon le format SECTEN du CITEPA

SECTEN	Types d'activités
1	Extraction, transformation et distribution d'énergie
2	Industrie manufacturière, traitement des déchets, construction
3	Résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel
4	Agriculture, sylviculture et aquaculture
5	Transport routier
6	Modes de transports autres que routier
7	Autres secteurs ou indifférencié
8	Puits
9	Emetteurs non inclus dans le total France

Source : CITEPA

L'Ile-de-France, une région fortement émettrice de COV

Les données du CITEPA montrent qu'en 2004, les émissions nationales de COV représentaient 1 367 kt (CITEPAa, 2006). La région Ile-de-France contribue à environ 5 % des émissions nationales de COV. En 2000, elle se trouvait en troisième position des régions les plus émettrices de COV, derrière les régions Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte-d'Azur (cf. Annexe 1). Parmi les COV émis en Ile-de-France, les trois quarts sont émis par l'agglomération parisienne et près de la moitié par les quatre départements du cœur de l'agglomération : Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne. Le poids de l'agglomération parisienne en terme d'émissions de polluants s'explique par la densité de ses émissions, concentrées sur une surface relativement restreinte, plus que par la quantité de polluants émis par habitant (Airparif, 2005).

Dans le cadre de son inventaire des émissions, Airparif a quantifié les contributions des différents secteurs d'activités aux émissions de COV en Ile-de-France en 2000. Six catégories d'activités ont alors été utilisées afin de rendre compte des grandes caractéristiques de la région Ile-de-France. Il s'agit :

- du trafic routier (incluant les émissions de COV par évaporation au sein des stations-service) ;
- des autres transports (ferroviaire, fluvial, maritime, aérien) ;
- des industries (centrales thermiques, chauffage urbain, procédés de production, utilisation industrielle de solvants, traitement et élimination des déchets...) ;
- du secteur résidentiel, tertiaire et artisanal (combustion liée au chauffage, utilisation de solvants dans les secteurs domestiques et de service) ;
- des sources biogéniques (forêts et prairies) ;
- de l'agriculture et la sylviculture (usage d'engrais azotés, combustions dans le secteur agricole).

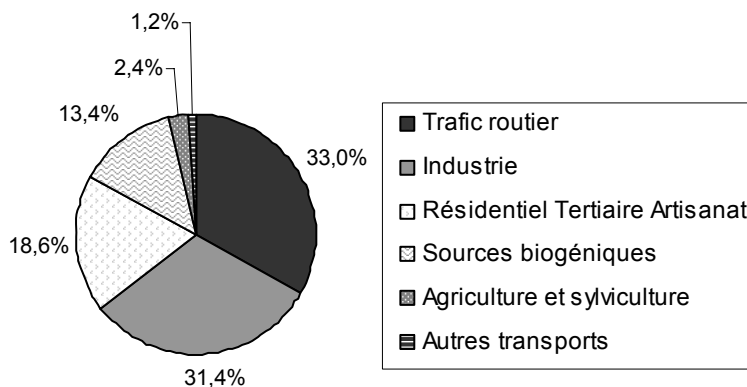
Les résultats sont présentés dans le Tableau 7. Ainsi, le trafic routier et l'industrie sont les principales sources de COV en Ile-de-France, contribuant respectivement à 33 % et 31,4 % des émissions franciliennes de COV en 2000. Le secteur résidentiel, tertiaire et artisanal représentait 18,6 % des émissions en 2000. Enfin, les sources biogéniques ne sont pas négligeables, elles représentaient 13,4 % des émissions en 2000. La Figure 1 représente la répartition des émissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités.

Tableau 7. Emissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités

Secteurs d'activités	Emissions annuelles (kt)
Trafic routier	58,9
Industrie	56,0
Résidentiel Tertiaire Artisanat	33,3
Sources biogéniques	23,9
Agriculture et sylviculture	4,3
Autres transports	2,1
Total	178,5

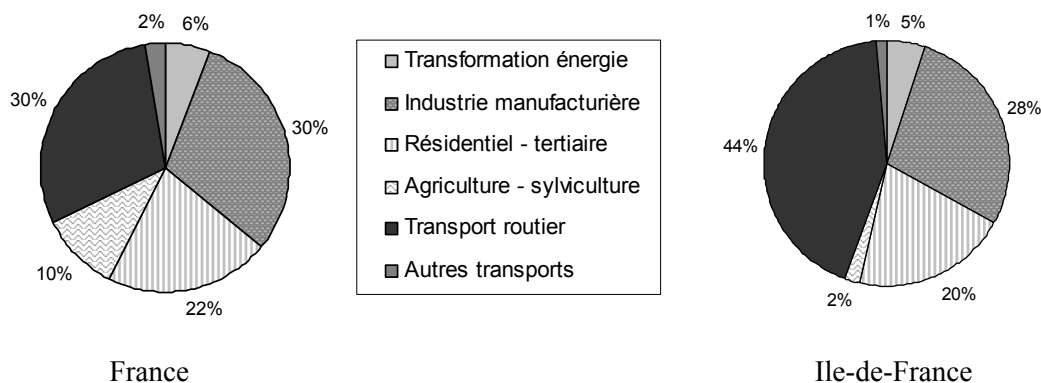
Source : Airparif, 2000

Figure 1. Répartition des émissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités



Source : Airparif, 2000

Figure 2. Répartition des émissions de COV en France métropolitaine et en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités



Source : CITEPA, 2000

Toutefois, il faut noter que les inventaires d'émissions comportent des incertitudes importantes, de l'ordre de 50 % pour les COV. En effet, il s'agit d'estimations qui reposent souvent sur des appréciations d'experts.

Les émissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités de la nomenclature SNAP se trouvent en Annexe 2.

Par ailleurs, les données du CITEPA permettent de comparer la répartition des émissions de COV pour l'Ile-de-France et pour la France entière et montrent les spécificités de la région Ile-de-France. Les répartitions pour l'année 2000 sont présentées dans la Figure 2. L'Ile-de-France se caractérise par l'importance des émissions de COV liées au trafic routier et la faible contribution de l'agriculture. Les résultats sont difficilement comparables avec ceux décrits précédemment en raison des différences dans les méthodes de classification, notamment la prise en compte ou non des émissions liées à la distribution d'essence dans le transport routier.

Emissions de COV par département francilien

Le CITEPA a réalisé un inventaire départementalisé des émissions de polluants atmosphériques en France (CITEPA, 2005). D'après celui-ci, pour le département de Paris, les sources de COV sont essentiellement le transport routier (56 %) et le secteur résidentiel et tertiaire (29 %). De même, les départements de la petite couronne présentent un profil similaire, avec les secteurs du transport routier (de 34 à 45 %), résidentiel et tertiaire (de 22 à 27 %) et de l'industrie manufacturière (de 20 à 41 %) prépondérants en terme d'émissions de COV. Les départements de grande couronne ont une source biogénique de COV non négligeable, à savoir la Seine-et-Marne (27 %), les Yvelines (15 %) et l'Essonne (10 %). L'agriculture et la sylviculture sont également une source de COV pour le département de la Seine-et-Marne (6 %). Le secteur des autres transports contribue très faiblement aux émissions de COV (4 % pour les Yvelines, 2 % pour le Val-de-Marne, 1 % pour le Val d'Oise).

Le Tableau 8 présente les émissions de COV par département francilien en 2000. Le Tableau 9 et la Figure 3 représentent les émissions par département francilien en 2000 selon les secteurs d'activités.

Tableau 8. Emissions de COV par département francilien en 2000

Départements	Emissions			
	Tonnes	%	Kg / hab	Kg / ha
Paris	25 457	12,2	11,9	2 415
Seine-et-Marne	39 016	18,6	32,4	66
Yvelines	35 310	16,9	26,0	155
Essonne	29 054	13,9	25,5	161
Hauts-de-Seine	18 631	8,9	13,0	1 061
Seine-Saint-Denis	22 454	10,7	16,2	951
Val-de-Marne	16 732	8,0	13,6	683
Val d'Oise	22 552	10,8	20,3	181
Ile de France	209 206	100,0	19,0	174

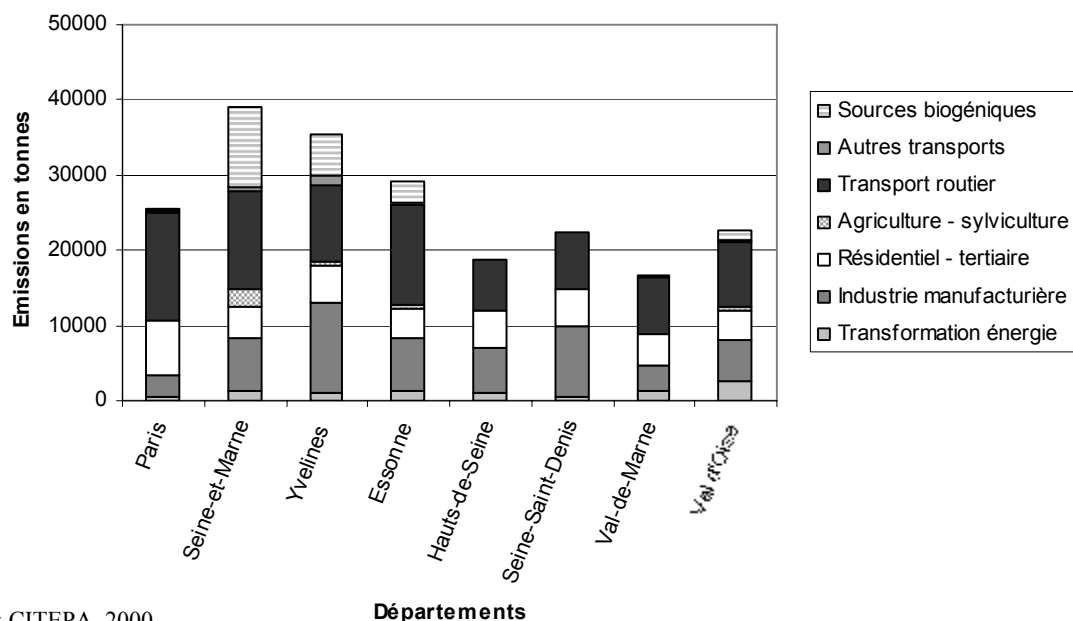
Source : CITEPA, 2000

Tableau 9. Emissions de COV par département francilien en 2000 selon les secteurs d'activités

Départements	Transforma- -tion énergie	Industrie ma- -nufacturière	Résidentiel tertiaire	Agriculture sylviculture	Transport routier	Autres transports	Sources biogéniques
Paris	591	2 796	7 349	0,81	14 187	306	229
Seine-et-Marne	1 375	6 864	4 300	2 422	13 021	480	10 555
Yvelines	1 008	12 084	4 832	502	10 156	1 330	5 398
Essonne	1 180	7 114	3 975	529	13 358	106	2 792
Hauts-de-Seine	1 097	5 920	5 026	10,9	6 575	2,06	0,00
Seine-Saint-Denis	580	9 339	4 832	27,3	7 671	3,74	1,02
Val-de-Marne	1 338	3 287	4 261	33,2	7 461	351	0,20
Val d'Oise	2 478	5 612	3 866	431	8 737	211	1 216
Ile de France	9 649	53 014	38 440	3 957	81 165	2 790	20 191

Source : CITEPA, 2000

Figure 3. Emissions de COV dans les départements franciliens en 2000 selon les secteurs d'activités



Source : CITEPA, 2000

Emissions par famille chimique de COV en France

Le CITEPA a également réalisé une étude spécifique afin de déterminer les principales familles chimiques de COV émises par les différents secteurs d'activités (CITEPAb, 2006). Un profil de répartition par famille a été déterminé, il permet de couvrir 98,7 % des émissions de COV totales en France métropolitaine pour l'année 2004. Les familles de composés contribuant le plus aux émissions totales de COV sont les alcanes (30 % des émissions totales), les composés aromatiques (19,5 %), les alcènes (12 %) et les alcools (11 %). Le Tableau 10 présente les émissions de COV par famille de composés et par secteur d'activités. Les données par secteur d'activités montrent que :

- pour le secteur de l'extraction, la transformation d'énergie et la distribution, les alcanes représentent une part prépondérante des émissions (87 %).
- pour l'industrie manufacturière, le traitement des déchets et la construction, les familles de composés les plus fortement contributrices aux émissions sont les alcanes (30 %), les composés aromatiques (23 %) et les alcools (21,5 %). L'industrie manufacturière est le secteur qui contribue le plus aux émissions d'un grand nombre de COV (composés aromatiques, cétones, acides carboxyliques, composés halogénés, esters, alcools, éthers, etc.).
- pour le secteur résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel, les émissions sont réparties de manière assez homogène entre les alcanes (21 %), les alcènes (21 %), les aromatiques (18,5 %) et les alcools (18 %). Le secteur résidentiel et tertiaire est le secteur qui contribue le plus aux émissions d'alcènes.
- pour le secteur de l'agriculture et la sylviculture, les terpènes représentent une part prépondérante des émissions (38 %). Ce secteur est celui qui contribue le plus aux émissions de terpènes.
- pour le transport routier, les familles de composés les plus fortement contributrices aux émissions sont les alcanes (37 %), les composés aromatiques (25 %), les alcènes (16 %) et les aldéhydes (11 %). Ce secteur est le secteur qui contribue le plus aux émissions d'aldéhydes.
- pour les autres transports, les alcanes contribuent pour 33 % aux émissions de ce secteur, les composés aromatiques pour 36 % et les alcènes pour 18 %.

Tableau 10. Emissions de COV selon les familles de composés en France métropolitaine en 2004 (kt)

Famille de composés	Transforma- -tion d'énergie	Industrie manufac- -turière	Résidentiel tertiaire	Agriculture sylviculture	Transport routier	Autres transports	Total *	Hors total **
Alcanes et cycloalcanes	67,85	122,05	74,83	15,01	110,41	15,88	406,03	9,4
Alcènes	3,79	13,95	73,26	10,28	47,72	8,73	157,73	3,4
Alcynes	0,11	1,71	19,93	1,51	9,24	2,31	34,81	0,3
Autres insaturés	0,00	0,17	0,37	0,00	0,00	0,00	0,53	0,0
Aromatiques	4,39	92,21	65,42	9,10	75,48	17,49	264,09	3,3
Phénols et crésols	0,00	0,17	0,02	0,00	9,67	0,28	10,14	0,0
Styrènes et dérivés	0,00	6,94	4,04	0,11	1,24	0,31	12,65	0,0
Aldéhydes	0,56	3,43	11,98	2,58	33,67	2,58	54,80	0,7
Cétones	0,18	19,30	8,36	0,03	1,99	0,15	30,01	6,3
Acides carboxyliques	0,00	0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38	0,0
Composés halogénés	0,00	10,05	3,96	0,00	0,00	0,00	14,00	0,0
Esters	0,00	7,37	1,60	0,00	0,00	0,00	8,97	0,0
Acrylonitrile	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Alcools	0,02	87,00	62,66	0,00	0,00	0,00	149,68	0,0
Ethers	0,00	1,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,54	4,8
Dérivés du glycol	0,00	17,21	6,66	0,00	0,00	0,00	23,86	0,0
Phatalates	0,00	5,90	0,88	0,00	0,00	0,00	6,79	0,0
Terpènes	0,00	2,32	1,00	64,67	0,00	0,00	67,99	0,0
Diènes	0,01	0,12	0,00	26,10	1,18	0,47	27,88	1051,3
Composés non identifiés	0,95	12,86	16,74	38,85	8,64	0,15	78,18	164,1
Total	77,8	404,1	352,3	168,2	299,2	48,4	1350,1	1243,6

* Selon les définitions de la CEE-NU, les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions maritimes et aériennes internationales, ainsi que les émissions des sources biogéniques et non anthropiques

** Hors total inclut les sources biogéniques et non anthropiques

Source : CITEPA, 2004

Evolution des émissions en France

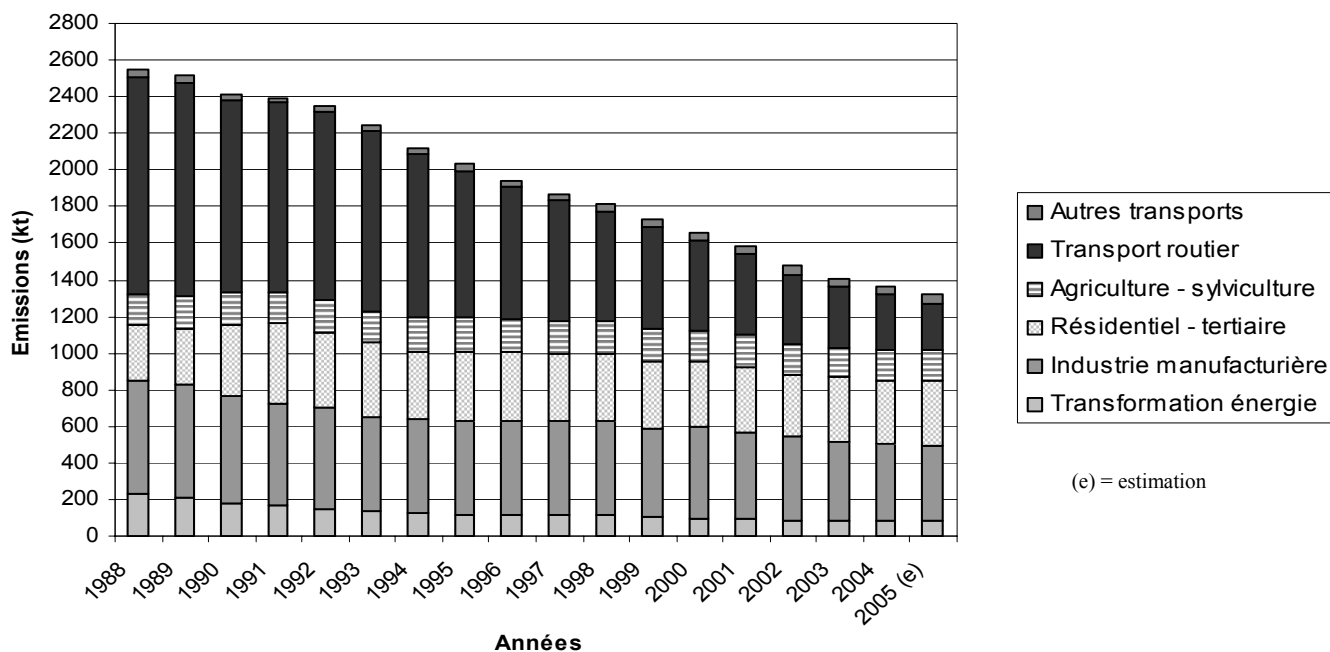
Les émissions nationales de COV sont en baisse depuis 1988 : une diminution de – 1180 kt a été observée entre 1988 et 2004, soit une diminution de 46 % (CITEPAa, 2006). La Figure 4 représente les émissions de COV dans l'air entre 1998 et 2005 en France métropolitaine selon les secteurs d'activités. La répartition par secteur d'activités a également évolué au cours des quinze dernières années. En 1990, le secteur du transport routier prédominait largement avec 45 % des émissions totales alors qu'en 2004, c'est l'industrie manufacturière qui arrive en tête avec 30 % des émissions, le transport routier ne contribuant alors plus qu'à hauteur de 22 %. La baisse des émissions dans le secteur du transport routier (- 75 % soit - 877 kt) est principalement due à l'équipement depuis 1993 des véhicules routiers en pots catalytiques de plus en plus performants. Une baisse des émissions entre 1998 et 2004 a également été observée dans le secteur de la transformation d'énergie suite aux progrès obtenus dans le stockage et la distribution des hydrocarbures (- 65 % soit - 148 kt). De même, dans le secteur de l'industrie manufacturière, une diminution des émissions est liée, d'une part, à la substitution des produits contenant des solvants par des produits à plus faible teneur en solvants et, d'autre part, à la mise en œuvre de techniques de réduction sur certains procédés.

Les transports, principale source de COV

Les émissions de COV liées au secteur des transports sont principalement dues à l'utilisation de carburants et proviennent essentiellement du trafic routier, mais aussi du secteur aéroportuaire (comprenant le trafic aérien et les autres activités liées à l'aéroport). Les émissions de COV provenant du trafic routier représentaient 33,0 % des émissions totales de COV en Ile-de-France en 2000, celles des autres transports, y compris le transport aérien, 1,2 % des émissions totales. Cependant, les émissions de COV de ce secteur des transports ont tendance à diminuer et la réactualisation de l'inventaire des émissions permettra de connaître la part actuelle de ce secteur dans les émissions franciliennes de COV.

Le secteur des transports (routier, aérien et ferroviaire) a une place prépondérante en Ile-de-France. En effet, l'Ile-de-France bénéficie d'un réseau routier très dense, comprenant de nombreuses autoroutes et voies rapides. De plus, la demande de déplacements des Franciliens est de plus en plus forte et le moyen de déplacement le plus utilisé reste la voiture particulière. En 2001, sur un total de 35,2 millions de déplacements quotidiens, 15,4 millions étaient réalisés avec les voitures particulières et véhicules utilitaires, 400 000 avec les deux roues motorisés, à comparer aux 6,8 millions avec les

Figure 4. Evolution des émissions de COV dans l'air entre 1988 et 2005 en France métropolitaine selon les secteurs d'activités



Les émissions des sources biogéniques et des sources non-anthropiques, ainsi que les émissions maritimes et aériennes internationales ne sont pas incluses.

Source : CITEPA, 2006

transports collectifs, 300 000 avec les deux roues non motorisés et 12 millions avec la marche. Par ailleurs, le transport routier de marchandises connaît une forte croissance et, en 30 ans, est devenu le mode de transport très largement dominant : la part de la route dans les tonnages transportés a dépassé 90 % en Ile-de-France en 2005 (Iaurif, 2007).

Concernant le transport aérien, les aéroports internationaux de Paris-Charles-De-Gaulle (CDG) et Paris-Orly généraient près de 740 000 mouvements en 2005, avec 514 000 mouvements pour CDG et 223 000 mouvements pour Orly. L'aéroport de CDG se positionnait au niveau mondial en 2003 aux 6^e, 7^e et 8^e places, respectivement pour le nombre de mouvements, le fret et l'emport de passagers (Iaurif, 2007).

Carburants et émissions de COV

Les carburants sont des mélanges d'hydrocarbures dont la combustion permet le fonctionnement des moteurs. Ils sont issus, pour l'essentiel, de la distillation du pétrole. La composition des carburants est variable en fonction de l'origine géographique du pétrole utilisé et des procédés de raffinage appliqués. Ils contiennent en moyenne 30 % à 45 % d'hydrocarbures aromatiques, 30 % à 45 % d'alcènes, 20 % à 30 % d'alcanes et 5 % de cycloalcanes. De nombreux additifs peuvent également être ajoutés pour améliorer les propriétés du carburant. Il peut s'agir d'antioxydants, d'antidétonants, d'antigivrants, de nettoyants, de détergents, d'anti-corrosifs, d'anti-mousse, ou encore d'additifs permettant une diminution des émissions de polluants. Ainsi, depuis la seconde moitié des années 1970, l'éther de méthyle et de butyle tertiaire (ou MTBE) a été ajouté au carburant. A l'origine, le MTBE était utilisé dans de faibles proportions (2 à 5 %) dans l'essence sans plomb pour augmenter l'indice d'octane. Plus récemment, l'augmentation des teneurs à un niveau de 11 à 15 % dans l'essence a permis d'améliorer la combustion et de réduire les émissions d'oxyde de carbone tout en réduisant la teneur en aromatiques. Cependant, le MTBE est en partie interdit aux Etats-Unis en raison de sa forte solubilité dans l'eau et donc de son infiltration dans les eaux souterraines.

Lors du fonctionnement d'un moteur, la combustion du carburant est en général incomplète et aboutit à l'émission d'hydrocarbures imbrûlés par le tuyau d'échappement. De manière moins importante, des émissions de vapeurs de carburant peuvent être dues à une évaporation ou à des fuites à partir du moteur et du circuit d'alimentation. Enfin, des COV sont également émis lors du ravitaillement en carburant, notamment dans les stations-service. Par ailleurs, il faut noter que la combustion des biocarburants peut aussi être à l'origine d'émissions de COV, notamment d'aldéhydes telles que le formaldéhyde ou l'acétaldéhyde. Si les bénéfices de l'utilisation des biocarburants pour diminuer

l'effet de serre sont aujourd'hui bien étudiés, les émissions de polluants liées à cette utilisation sont bien moins documentées à l'heure actuelle (Jacobson, 2007).

Transport routier

Il est rappelé qu'en 2000 le transport routier était la première source d'émissions de COV en Ile-de-France, représentant près d'un tiers des émissions régionales de COV. Ces composés sont émis par tout type de véhicules à moteur : voitures particulières, camionnettes, véhicules routiers lourds, motos, cyclomoteurs. Les deux-roues motorisés contribuent de manière importante aux émissions régionales de COV. En effet, ils sont responsables à l'échelle régionale de 21 % des émissions de COV liées au trafic routier alors qu'ils ne représentent que 7 % du kilométrage parcouru un jour ouvrable normal en Ile-de-France (données 2000). Un deux-roues motorisé « moyen » émet près de 3 fois plus de COV par kilomètre parcouru qu'un véhicule personnel à essence. Les deux-roues représentent 6 % des émissions régionales totales de COV, alors que les poids-lourds contribuent, quant à eux, à 2 % des émissions totales. En revanche, les émissions de COV provenant des voitures particulières et des camionnettes à moteur diesel sont très faibles, généralement inférieures à celles des véhicules fonctionnant à l'essence équipés d'un pot catalytique en boucle fermée.

La vitesse des véhicules influe également sur leurs émissions de polluants : une faible vitesse des véhicules ou un embouteillage conduisent à des émissions plus importantes de monoxyde de carbone et de COV, alors qu'une vitesse importante des véhicules conduit à des émissions plus importantes d'oxydes d'azote. C'est pourquoi la politique d'aménagement des infrastructures est susceptible d'influencer les émissions.

Compte tenu des progrès technologiques et des normes mises en place sur les carburants, les émissions polluantes du trafic ont tendance à diminuer. Ainsi, les véhicules sont équipés depuis 1993 de pots catalytiques de plus en plus performants. D'autre part, depuis 2000, des normes européennes ont été imposées aux constructeurs de deux-roues motorisés permettant une importante diminution des émissions de COV des modèles de dernière génération. Cependant, la durée de vie des véhicules retarde le bénéfice potentiel de ces progrès technologiques.

Secteur aéroportuaire

Le secteur aéroportuaire est une source de COV non négligeable, mais très localisée. Les COV émis sont principalement issus du trafic aérien mais aussi de nombreuses autres activités de l'aéroport.

Emissions du trafic aérien

Les émissions des trois principaux aéroports d'Ile-de-France : Roissy CDG, Orly et le Bourget représentent moins de 2 % des émissions régionales de COV. Ce sont surtout les émissions du trafic aérien en-dessous de 1 000 m d'altitude qui ont un effet direct sur la qualité de l'air à l'échelle locale ou régionale. Pour quantifier ces émissions, on utilise souvent le cycle standard, appelé cycle « LTO » (Landing – Take off) qui décompose les mouvements aériens dans la zone aéroportuaire en quatre séquences distinctes : les phases d'approche, de roulage, de décollage et de montée (jusqu'à 1 000 m environ). On estime que 90 % des COV émis pour l'ensemble d'un vol sont émis pendant le cycle LTO. De plus, des combustions incomplètes sont typiquement rencontrées lorsque le moteur fonctionne à bas régime ou au ralenti, c'est-à-dire pendant les phases d'approche et de roulage au sol, phases responsables de plus de 97 % des émissions de COV lors d'un cycle LTO à Roissy CDG. Le Tableau 11 présente les contributions des différentes phases d'un cycle LTO aux émissions de COV à Roissy CDG et à Orly (Airparif, 2003 ; Airparif, 2004). Par ailleurs, les émissions de COV d'un avion lors d'un cycle LTO standard sont comparables aux émissions de 16 deux roues parcourant chacun 100 km ou de 49 véhicules particuliers parcourant chacun 100 km.⁵

Il existe une relativement grande similarité chimique entre les carburants diesels et les carburateurs (produits de raffinage pétroliers spécifiquement destinés à l'alimentation des avions à réaction). Les polluants émis par les avions présentent donc une faible spécificité. L'amélioration des performances techniques des moteurs d'avions est réelle et conséquente (baisse de 40 % de la consommation à puissance équivalente au cours des quarante dernières années). Les nouveaux avions émettent donc de moins en moins de COV. Cependant, la durée de vie d'environ trente ans d'un appareil retarde le bénéfice potentiel de ces progrès.

Emissions liées aux autres activités de la zone aéroportuaire

Hormis les émissions directes du trafic aérien, une plate-forme aéroportuaire génère d'autres émissions qui sont liées au fonctionnement même de l'aéroport ainsi qu'aux activités industrielles connexes. Ainsi, des COV sont émis lors de l'avitaillement des avions, de leur maintenance, du trafic de véhicules sur la plate-forme, ainsi que du transport des passagers et du personnel vers ou depuis l'aéroport, etc. Les émissions annuelles qui ne sont issues que du fonctionnement direct des zones aéroportuaires de Roissy-CDG, Orly et Le Bourget sont présentées dans le Tableau 12. En ne considérant que les émissions générées sur le périmètre de l'aéroport (hors émissions induites notamment par les trajets du personnel et des passagers pour rejoindre la plate-forme), les émissions

⁵ <http://www.airparif.asso.fr>

Tableau 11. Contributions des différentes phases d'un cycle LTO aux émissions de COV à Roissy CDG et Orly

Phases du cycle LTO	Roissy CDG		Orly	
	Durée	Emissions (%)	Durée	Emissions (%)
Décollage	42 s	1	42 s	1
Montée	3 min	1	3 min	2
Approche	4 min	4	4 min	6
Roulage	35 min	94	26 min	91

Source : Airparif, 2003 et 2004

Tableau 12. Emissions de COV en 2000 pour les trois principaux aéroports franciliens et contribution du trafic aérien et des activités connexes dans le périmètre de l'aéroport

Types d'émissions	Roissy CDG		Orly		Le Bourget	
	Emissions (t/an)	%	Emissions (t/an)	%	Emissions (t/an)	%
Emissions du trafic aérien (cycle LTO)	941	78,6	438	90,5	58	86,6
Emissions des activités connexes	256	21,4	46	9,5	9	13,4
Emissions totales	1197	100,0	484	100,0	67	100,0

Source : Airparif, 2003 et 2004

du trafic aérien représentent plus de 75 % des émissions totales de COV liées à l'aéroport (Airparif, 2003 ; Airparif, 2004).

Des sources industrielles, tertiaires et domestiques variées

Les principales sources fixes de COV sont les sources industrielles, tertiaires et domestiques. En effet, de nombreux sites industriels utilisent ou produisent des COV, généralement une multitude de COV différents et souvent sous forme de mélanges pour obtenir les propriétés recherchées. Les émissions de COV liées au secteur résidentiel et tertiaire sont souvent issues d'activités également réalisées dans le secteur industriel. D'ailleurs, la classification SNAP ne distingue pas les secteurs mais plutôt les activités émettrices de COV telles que l'utilisation de solvants, les procédés de production, les combustions, etc. C'est pourquoi, dans le cadre de ce rapport, les sources industrielles, tertiaires et domestiques sont regroupées dans la même partie.

L'Ile-de-France est la première région industrielle française, avec 14,2 % des effectifs industriels répartis dans 6 997 établissements de plus de 20 salariés. Les branches d'activité les plus représentées sont l'édition et l'imprimerie, l'industrie automobile, la construction aéronautique et spatiale, la fabrication d'appareils d'émission et de transmission et l'industrie pharmaceutique. Mais la tertiarisation s'effectue à un rythme plus soutenu qu'au niveau national. L'emploi industriel représente 11,5 % de l'emploi salarié régional contre 83,5 % pour le tertiaire. Ce dernier est le secteur le plus dynamique avec 81 % des entreprises nouvelles. Le secteur des services connaît, notamment, un fort développement.⁶ L'activité industrielle de Paris et la petite couronne est en repli et les activités de production sont plutôt transférées à la périphérie de l'Ile-de-France, voire dans d'autres régions ou pays.

Les émissions de COV des sources fixes peuvent être estimées à partir de données statistiques disponibles, par exemple des données de consommation énergétique ou de production couplées à des facteurs d'émission européens. L'inventaire des émissions franciliennes de polluants pour l'année 2000 a montré que les sources fixes, et en particulier les grandes installations industrielles, contribuent de manière importante aux émissions de COV. Ainsi, les émissions annuelles des 184 grandes sources ponctuelles d'Ile-de-France représentent 8 % des émissions franciliennes de COV et celles des dix

⁶ <http://www.ile-de-france.drire.gouv.fr/>

plus grandes sources représentent 6 % (Airparif, 2005). A cela s'ajoutent les émissions de plus petits sites industriels, et notamment des nombreuses PME et PMI, aux activités variées.

Les principales activités émettrices de COV

Parmi les principales activités des secteurs industriel, tertiaire et résidentiel à l'origine d'émissions de COV, on trouve l'utilisation de solvants (notamment l'application de peintures, le dégraissage ou le nettoyage), les procédés de production (industries de la chimie organique et du pétrole) et les combustions (industries manufacturière et de la transformation d'énergie, chauffage domestique).

L'utilisation de solvants

L'utilisation de solvants est la principale source de COV dans le secteur industriel, mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire. Les émissions dues à l'utilisation de solvants proviennent pour les 2/3 de sources industrielles et pour le reste de sources domestiques (bricolage, travaux d'entretien). Ainsi, si l'on considère l'utilisation de solvants en général, que ce soit par les entreprises et pour les usages domestiques, celle-ci contribue à plus de 40 % des émissions franciliennes de COV (Airparif, 2005). Il existe environ un millier de solvants différents, dont une centaine d'usage courant. On distingue huit principaux groupes : les hydrocarbures aromatiques, les solvants pétroliers, les alcools, les cétones, les esters, les éthers, les éthers de glycol et les hydrocarbures halogénés, auxquels s'ajoutent quelques solvants particuliers. Les solvants ont de nombreuses applications : ils peuvent servir, selon leurs propriétés, de dégraissants (nettoyage des métaux, des textiles...), d'adjuvants et diluants (peintures, vernis, encres, colles, pesticides), de décapants (élimination des peintures, vernis, colles...) ou de purifiants (parfums, médicaments). La plus large utilisation émane de l'industrie des peintures et revêtements. Après utilisation, les solvants sont, soit incinérés (récupération d'énergie), soit recyclés et réutilisés dans le même procédé à de nombreuses reprises. Cependant une quantité importante peut s'évaporer dans le cadre de leur utilisation.

Les procédés de production

L'industrie du pétrole contribue de manière importante aux émissions franciliennes de COV. L'Ile-de-France exploite quatre sites pétroliers (2 en Seine-et-Marne, 1 dans l'Essonne et 1 dans les Yvelines), représentant environ 40 % de la production nationale. La capacité de raffinage s'élève à 4,8 millions de tonnes, couvrant le tiers des besoins en produits pétroliers de la région. Vingt dépôts, alimentés par oléoducs depuis les raffineries, stockent 1,24 millions de m³. Cependant, la production régionale de pétrole a chuté de 50 % en dix ans, la capacité de stockage de 20 % (ARENE Ile-de-France et ADEME, 2006). Les émissions de COV proviennent des raffineries, mais aussi du réseau de

distribution, y compris lors du transport, du stockage et de la distribution dans les stations-service. Par évaporation des carburants à la pompe, les stations-service contribuent à 3,5 % des émissions franciliennes de COV (à comparer avec les 6 % provenant des deux-roues motorisés, les 7 % issus de l'utilisation de solvants dans le secteur de l'imprimerie ou les 12 % issus de l'usage domestique de solvants et peintures) (Airparif, 2005). Les émissions issues des stations-service sont parfois comptabilisées avec le transport routier.

Concernant l'industrie de la chimie organique, les COV émis sont très variés en raison de la diversité des produits et des procédés de synthèse utilisés. Les émissions sont dues au procédé de réaction, à l'oxydation à l'air et à la distillation, à d'autres procédés de séparation ou à des fuites lors du stockage et du transfert de produits (chargement / déchargement).

Des COV peuvent également être émis par d'autres secteurs industriels, comme l'industrie alimentaire ou du bois. En effet, par exemple dans le cadre de l'industrie alimentaire, des COV sont susceptibles d'être émis lors de la production de boissons alcoolisées, la boulangerie, l'extraction d'huiles végétales et de graisses animales, mais aussi la friture (pommes de terre frites, chips...), la préparation de plats cuisinés, etc. Mais la région Ile-de-France est peu concernée par ces émissions.

Les combustions

Des COV sont émis lors de la combustion de l'essence, mais aussi du gaz, du bois ou du charbon. Or, des combustions sont effectuées dans le cadre d'activités industrielles, domestiques ou par les commerces et entreprises, notamment pour le chauffage des bâtiments. Elles concernent donc à la fois les secteurs industriel, résidentiel et tertiaire. Pour le secteur résidentiel, il s'agit essentiellement du chauffage au bois (foyers et inserts, poêles, chaudières, cuisinières). Les COV sont émis en quantités relativement faibles lors de la combustion d'énergies fossiles (exception faite du trafic routier).

Autres activités

Enfin, d'autres activités peuvent contribuer, de manière plus marginale, aux émissions franciliennes de COV. Il s'agit notamment du traitement et de l'élimination des déchets et de l'agriculture. En effet, la plupart des sites de traitement et d'élimination des déchets sont susceptibles de rejeter des COV, que ce soit les incinérateurs, les plates-formes de compostage ou de méthanisation ou les centres de stockage. Cependant, les quantités émises sont généralement très faibles. Parmi ces installations, ce sont les décharges qui contribuent le plus aux émissions de COV (Saint-Ouen *et al.*, 2007). Dans le cadre de l'agriculture, des COV sont émis lors du brûlage des déchets agricoles, surtout de la paille et du chaume, de l'emploi de solvants organiques dans les préparations de pesticides ou encore de la dégradation anaérobie des aliments du bétail et des déchets animaux.

Les sources à l'intérieur des bâtiments, notamment les logements

A l'intérieur des bâtiments, les sources de COV sont très diverses puisqu'en raison de leurs propriétés variées, les COV sont largement utilisés dans de nombreux produits et matériaux, en tant que solvants, gaz propulseurs, carburants, bactéricides, etc. Les COV se dégagent alors naturellement de ces produits ou matériaux ou sont émis via des processus de combustion ou de cuisson des aliments. Les sources sont la combustion (tabagisme, chauffage, bougies, encens, etc.), les produits de construction, de décoration, de bricolage, l'ameublement, les produits d'entretien et les activités humaines (cuisine, hygiène, cosmétiques). Les émissions de COV peuvent être de durées variables, allant de la pollution ponctuelle (produits d'entretien, combustion du bois, du charbon, etc.) à la pollution qui décroît en quelques jours ou quelques mois, voire exceptionnellement quelques années (matériaux de construction : panneaux de bois reconstitués (agglomérés), bois de charpente et planchers, peintures, vernis, mousses isolantes, moquettes, revêtements de sols, etc.).

Des sources biogéniques non négligeables

La végétation émet des COV avec un large éventail de produits comprenant principalement des hydrocarbures, parmi lesquels l'isoprène et les monoterpènes sont considérés comme les plus abondants et les plus réactifs dans les processus photochimiques. Les autres COV émis comprennent des sesquiterpènes et surtout des familles de composés terpéniques oxygénés (aldéhydes, cétones, alcools, ...). Les émissions biogéniques nationales en fonction du type de COV sont présentées dans le Tableau 13.

Ces émissions dépendent de la densité de biomasse foliaire et de facteurs micrométéorologiques, principalement la température foliaire et l'intensité lumineuse. Les émissions varient donc en fonction de facteurs divers tels que la période de l'année, l'âge des arbres, l'altitude, la fertilité du sol, l'exposition, la pollution, etc. Ainsi, en France, les émissions sont notables de mars à octobre, avec un maximum lors des mois de juillet et août. Elles sont en revanche très faibles à nulles le reste de l'année (Luchetta & Torres, 2000).

L'émission biogénique annuelle de COV en France représente sensiblement la moitié de la source de COV (hors méthane) d'origine anthropique. Cependant, il existe des différences régionales. Dans certaines régions, méditerranéennes notamment, les émissions naturelles peuvent largement dépasser,

durant certaines périodes, les émissions anthropiques. Les espaces boisés étant peu développés dans le Bassin parisien par rapport aux autres régions, cette région est faiblement émettrice de COV biogéniques par rapport aux autres régions. Toutefois, les émissions d'isoprène ne sont pas négligeables dans certains départements franciliens comme la Seine-et-Marne et les Yvelines. Les émissions monoterpéniques, plutôt caractéristiques des zones de moyenne et haute montagne, sont quant à elles très faibles en Ile-de-France (Luchetta & Torres, 2000). Le Tableau 14 présente l'estimation de l'émission biogénique moyenne annuelle à l'échelle départementale et nationale pendant la période 1994-1998.

Cependant, ces émissions biogéniques franciliennes correspondent tout de même à environ 17 fois les émissions de COV du boulevard périphérique, mais elles sont réparties sur toute la région et ne correspondent pas aux mêmes espèces chimiques (Airparif, 2005). Par leur diversité et l'importance de leurs émissions, les COV biogéniques peuvent donc prendre une part non négligeable dans la formation d'ozone photochimique.

Des mesures engagées pour la réduction des émissions

Afin de limiter les émissions de COV, des mesures ont été engagées au niveau international, européen et français. Les principales mesures sont présentées dans cette partie, la liste des principaux textes réglementaires concernant les COV se trouve dans l'Annexe 3.

Les engagements internationaux de réduction des émissions

Un des principaux engagements internationaux concernant les COV est le protocole de Göteborg, signé en 1999 et qui vise à réduire l'acidification, l'eutrophisation et la production d'ozone dans la basse atmosphère. Il s'agit d'un protocole dit multi-polluants (concernant SO₂, NO_x, NH₃ et les COV) et multi-effets. Il a conduit à fixer des plafonds nationaux d'émissions en s'appuyant sur des travaux de modélisation visant à optimiser les coûts des efforts de réduction tout en garantissant le respect d'objectifs environnementaux. Dans le cadre de ce protocole, la France s'est engagée à réduire ses émissions de COV non méthaniques d'un niveau d'émission de 2 300 Kt en 1998 à un niveau de

Tableau 13. Estimation de l'émission biogénique moyenne annuelle en France en fonction du type de COV pour la période 1994-1998

COV	Emissions biogéniques (kt/an)	% de l'émission biogénique totale
Isoprène	457	49
Monoterpènes	350	37
Autres COV	129	14
Total	936	100

Source : Luchetta & Torres, 2000

Tableau 14. Estimation de l'émission biogénique moyenne annuelle à l'échelle départementale et nationale pour la période 1994-1998

Départements	Isoprène (kt/an)	Monoterpène (kt/an)	Autres COV (kt/an)	Total (kt/an)	Surface du département (km ²)	Surface de forêt (km ²)
Paris couronne	0,2	0,05	0,0	0,3	763	82
Seine-et-Marne	6,5	1,1	0,6	8,2	5 926	1 338
Essonne	1,9	0,3	0,2	2,4	1 819	419
Yvelines	3,5	0,5	0,3	4,3	2 307	696
Val d'Oise	0,8	0,1	0,1	1,0	1 253	244
France	457	350	129	936	549 000	140 000

Source : Luchetta & Torres, 2000

1 100 kilotonnes en 2010. L'analyse des effets de l'application des dispositions du protocole devrait aboutir à sa révision fin 2008.

Ce protocole a également été transposé dans la législation européenne, avec des objectifs renforcés, par la directive NEC (National Emission Ceilings) n° 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2001. Ainsi, les Etats membres doivent limiter pour la fin de l'année 2010 au plus tard leurs émissions nationales annuelles de SO₂, NO_x, NH₃ et COV à des quantités ne dépassant pas des plafonds d'émission fixés et veillent à ce que ces plafonds ne soient pas dépassés après 2010. Le plafond d'émissions annuelles de COV pour la France est de **1 050 kilotonnes**.

Le Plan de Protection de l'Atmosphère d'Ile-de-France

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996 a notamment imposé la mise en œuvre de divers outils de planification en vue de mieux lutter contre la pollution atmosphérique. Il s'agit des Plans Régionaux de la Qualité de l'Air (PRQA) et des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA). Dans le cadre du PPA Ile-de-France 2005-2010, une mesure réglementaire spécifique aux COV a notamment été décidée. Elle concerne la réduction des rejets de COV dans les stations-service par la mise en place de récupérateurs de vapeurs d'hydrocarbures (cf. paragraphe « Des mesures par secteur » p 46).

La surveillance des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Certaines activités sont encadrées afin de réduire ou d'éviter toute pollution en provenance des installations concernées. Ces dernières font partie des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), définies dans le Code de l'Environnement (Livre V Titre 1). Il s'agit des « usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personnes physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients, soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité et la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et des monuments ». Les installations soumises à cette réglementation sont celles dont l'une ou plusieurs de leurs activités font l'objet d'une inscription sur une liste appelée nomenclature. Ces installations, suivant la gravité des dangers ou des inconvénients des activités, peuvent être soumises à une procédure d'autorisation ou à une simple procédure de déclaration.

Tableau 15. Evolution des rejets des principaux émetteurs industriels de COV en Ile-de-France en tonnes par an

Etablissement	Commune	Dépt	2001	2002	2003	2004	2005
Peugeot Citroën Aulnay	Aulnay	93	1 987	2 235	2 269	2 238	1 476
Renault Flins	Flins-sur-Seine	78	2 272	1 770	1 813	1 251	1 196
Helio Corbeil	Corbeil Essonnes	91	1 170	1 031	1 087	998	1 063
Peugeot	Poissy	78	1 120	1 179	948	912	1 005
Aventis Pharma	Vitry	94	993	840	660	677	657
Faurecia Industries	Marines	95	418	323	354	422	584
Total (raffineries)	Grandpuits Bailly Carrois	77	424	442	522	584	540
Griffine Enduction	Nucourt	95	1 058	643	587	542	485
Didier Quebecor	Mary-sur-Marne	77	1 515	866	580	505	473
Sleevever International	Morangis	91	156	243	275	254	237
Sun Chemical	Brie-Comte-Robert	77	189*	165	158	205	185
Lundin International	Sancy-lès-Provins	77	155*	155*	155*	155*	155
Charmettes (imprimerie)	Saint-Maur	94	188	218	199	199*	149
3M France	Beauchamp	95	194	301	207	154	134
Knauff Plâtres	Saint-Soupplets	77	123*	123*	123*	123	115
Ceduliose (imprimerie)	Saint-Maur	94	84*	84	84	82	78
Total	Vert-le-Grand	91	152	137	123	125	63
Isochem	Vert-le-Petit	91	200	166	87	36	42
Isochem	Gennevilliers	92	140*	140	99	39	39
Dassault Aviation	Argenteuil	95	98	94	86	50	24
Total Fina Elf	Gennevilliers	92	123*	73	39	17	19
CIES	Lagny-sur-Marne	77	308	284	284	1*	1*

* valeur estimée

Source : DRIRE Ile-de-France, 2006

Les installations classées soumises à autorisation sont régies par l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des ICPE soumises à autorisation. Cet arrêté a été modifié par deux arrêtés du 29 mai 2000 et du 2 mai 2002 qui ont transcrit en droit français la directive européenne n° 1999/13/CE du 11 mars 1999. Suivant les secteurs et les seuils de consommation de solvants, les ICPE doivent respecter des valeurs limites d'émissions (VLE) canalisées et diffuses (cf Annexe 4). Les VLE sont fixées dans l'arrêté d'autorisation sur la base de l'emploi des meilleures technologies disponibles à un coût économique acceptable, et des caractéristiques particulières de l'environnement. Pour les COV considérés comme particulièrement toxiques, à savoir les COV de l'annexe III de l'arrêté (cf Annexe 5) et les COV cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, des VLE spécifiques plus strictes sont fixées. Une alternative au respect des VLE est proposée sous la forme d'un Schéma de Maîtrise des Emissions (SME) de COV. Un tel schéma garantit que le flux annuel émis n'excède pas ce qui serait obtenu par un strict respect des VLE.

Un registre des émissions pour les installations classées

L'Ile-de-France comptait au 31 décembre 2005 près de 5 000 installations classées soumises à autorisation, comprenant des installations industrielles ou agricoles (DRIRE Ile-de-France, 2006). Les exploitants des installations classées les plus importantes doivent déclarer chaque année les émissions de polluants liées à leurs activités. A partir des données déclarées, la Direction de la prévention des pollutions et des risques du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable⁷ a mis en place un registre français des émissions polluantes. Celui-ci a pour objectif de recenser les principales sources industrielles d'émissions de polluants et les informations sont mises à disposition du public.⁸

D'après ce registre, les principaux secteurs d'activités émetteurs de COV en Ile-de-France sont notamment l'industrie automobile, la chimie et la parachimie, et l'industrie pétrolière. En effet, certains grands sites de production de l'industrie automobile font partie des plus forts émetteurs industriels de COV. Les raffineries et sites de stockage de l'industrie pétrolière contribuent également de manière notable aux émissions industrielles de COV. Le Tableau 15 présente les rejets des principaux émetteurs de COV en Ile-de-France et leur évolution depuis les dernières années. Les mesures montrent une diminution des rejets des principaux émetteurs de COV, liée à l'évolution des technologies disponibles et de la réglementation. En effet, la réduction des émissions de COV constitue une priorité pour l'inspection des installations classées et l'objectif est d'obtenir une réduction de 40 % des émissions des principaux émetteurs (rejetant plus de 30 tonnes par an) entre

⁷ aujourd'hui appelé ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable

⁸ www.irep.ecologie.gouv.fr

2000 et 2010. Cet objectif est presque atteint puisque la réduction obtenue est de 39 % en 2005 (DRIRE Ile-de-France, 2006).

La Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP)

A partir du milieu des années 1980, des taxes parafiscales sur les émissions de polluants ont été instaurées, concernant SO₂, NO_x, HCl et les COV. Ces taxes environnementales visaient à limiter les pollutions dans des secteurs précis : déchets, pollution atmosphérique, nuisances sonores et huiles à base d'hydrocarbures. Le 1^{er} janvier 1999, la taxe générale sur les activités polluantes, instituée par la loi des finances, est née de la fusion de ces éco-taxes. A partir de 2000, le champ des pollutions couvertes par la TGAP a été étendu à de nouveaux domaines : lessives, matériaux d'extraction, produits antiparasitaires et installations classées présentant un risque pour l'environnement. Aujourd'hui, la TGAP repose sur huit composantes, dont l'émission dans l'atmosphère de substances polluantes. Concernant les émissions de COV, les installations soumises à la TGAP sont celles qui émettent plus de 150 tonnes de COV par an.

La TGAP traduit l'application du principe pollueur-payeur, désormais inscrit dans la Charte de l'environnement adossée à la Constitution depuis février 2005. Ce principe suggère que les dommages causés à l'environnement par l'activité de certaines entreprises ou particuliers doivent faire l'objet d'une taxation spécifique, ayant pour effet de renchérir leur coût, dans le but ultime de dissuader ces entreprises ou particuliers de se livrer à de telles activités. Elle vise à orienter les comportements des agents économiques, à dissuader et à prévenir ceux qui présentent le plus de risques pour l'environnement. Cela se traduit également par un ensemble d'exonérations ou de minoration de taxes pour les entreprises qui se sont engagées dans certaines démarches favorables à la protection de l'environnement.

Des mesures par secteur

Par ailleurs, plusieurs directives et décrets visent à diminuer les émissions de COV provenant de sources spécifiques. Les principaux textes sont présentés ci-dessous.

Utilisation de solvants

La directive du Conseil n° 1999/13/CE du 11 mars 1999 vise à réduire les émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations. Elle fixe des valeurs limites

pour les émissions canalisées et diffuses de COV et des obligations particulières concernant les COV les plus toxiques (réduction, substitution) pour 20 secteurs d'activités utilisant des solvants (imprimerie, revêtement de surface, imprégnation du bois, nettoyage de surface, etc.). Ces dispositions ont été transposées dans la réglementation française, modifiant l'arrêté du 2 février 1998. La directive devrait permettre une réduction de 57 % des émissions des sources fixes en France entre 1997 et 2010.⁹ L'objectif est de favoriser un traitement à la source, par la réduction des quantités de solvants utilisées, plutôt qu'un traitement aval. Les industriels ont ainsi engagé des actions de réduction consistant par exemple lorsque cela est possible à remplacer les peintures à forte teneur en solvant par des peintures en phase aqueuse, à capter les vapeurs de solvant lors des opérations de nettoyage et à rechercher des substituts aux solvants chlorés.

La Directive 2004/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 ainsi que le décret n° 2006-623 du 29 mai 2006 visent à réduire les émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules. Les peintures, les vernis de revêtement à des fins décoratives, fonctionnelles ou de protection et les produits de retouche de véhicules ne peuvent être mis sur le marché que si leur concentration en COV ne dépasse pas les valeurs limites fixées par arrêté. Les produits doivent présenter une étiquette indiquant la catégorie de produit, la valeur limite de concentration en COV et la concentration maximale en COV du produit prêt à l'emploi.

Stations-service

De même, le décret n° 2001-349 du 18 avril 2001 vise à réduire les émissions de composés organiques volatils liées au ravitaillement des véhicules dans les stations-service. Ainsi, il fixe les conditions dans lesquelles sont limitées les émissions de COV lors du ravitaillement en essence des véhicules à moteur dans les stations-service d'un débit d'essence supérieur à 3 000 m³ par an (volume annuel total d'essence distribué dans les réservoirs des véhicules à moteur). Celles-ci doivent être équipées de systèmes actifs de récupération des vapeurs afin de permettre le retour d'au moins 80 % des COV dans les réservoirs fixes des stations-service.

Dans le cadre du PPA 2005-2010, il a été proposé d'abaisser dans un premier temps à 2000 m³/an le seuil d'obligation d'équipement des pompes en récupérateurs de vapeurs pour les stations-service soumises à la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement et à 1000 m³/an en 2010, en fonction des conclusions intermédiaires. Il a également été proposé de créer un label pour les stations-service équipées de récupérateurs et de recommander au public, en cas de pic

⁹ <http://www.ademe.fr>

de pollution, de faire son plein d'essence dans des stations-service dont les pompes sont équipées de récupérateurs.

Transport routier

Les émissions des voitures particulières sont réglementées depuis 1970 pour les hydrocarbures. Depuis, les valeurs limites imposées sont régulièrement rendues plus sévères. La directive consolidée de juin 1991 a rendu obligatoire le pot catalytique sur les voitures à essence neuves à compter du 1^{er} janvier 1993. La directive n° 97/24/CE du 17 juin 1997 relative aux deux-roues réglemente leurs émissions polluantes depuis 1999.

Le Parlement européen et le Conseil ont adopté le 13 octobre 1998 deux directives relatives à la qualité des carburants et aux émissions des véhicules à moteur (directive 98/69/CE et 98/70/CE). Ces deux textes complémentaires découlent des travaux du programme Auto-oil qui a associé, sous l'égide de la Commission, les industries pétrolière et automobile européennes. Ces directives « Auto-Oil » ont permis en 2000 de diviser par 5 le taux maximum de benzène dans l'essence (de 5 % à 1 % du volume).

Exposition de la population francilienne

Une exposition difficile à évaluer

Compte tenu des diverses sources d'émissions, des COV sont susceptibles d'être présents dans les différents milieux (air, eau, sol). Mais du fait de leur volatilité, on les retrouve majoritairement dans l'air. Ainsi la principale voie d'exposition aux COV est l'inhalation, les voies digestive et cutanée étant marginales (cf. chapitre « Effets sur la santé » p 71). L'exposition d'un individu est caractérisée par son intensité (niveau de concentration du polluant), mais aussi par sa durée et sa fréquence. La dose absorbée par une personne ($\mu\text{g}/\text{h}$) est calculée en multipliant la concentration du polluant dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par le taux respiratoire (m^3/h) et par la fraction absorbée (%). Pour pouvoir évaluer l'exposition d'un individu, il est donc indispensable, en premier lieu, de disposer de données sur la concentration des COV dans l'air des différents milieux fréquentés, que ce soit l'air extérieur ou l'air à l'intérieur des bâtiments (logements, lieux de travail, écoles, etc.).

Il n'y a pas de relation simple entre les émissions de COV dans l'atmosphère et leurs concentrations dans l'air (Airparif, 2005). En effet, les concentrations dans l'air dépendent des quantités émises dans l'atmosphère, mais aussi des conditions météorologiques (qui peuvent jouer un rôle aggravant ou au contraire de dilution par le vent ou la pluie), du relief et des réactions chimiques qui se produisent dans l'atmosphère entre les polluants et qui peuvent aboutir à la formation de nouveaux composés.

On distingue généralement l'exposition à la pollution de fond et l'exposition à la pollution de proximité. La pollution de fond correspond à la pollution ambiante minimale à laquelle toute personne est au moins exposée. La pollution de proximité correspond à la pollution à laquelle une personne est exposée à proximité d'une source d'émissions. Cette dernière résulte à la fois de la pollution de fond et de l'impact local de la source d'émissions et il s'agit donc de niveaux de polluants plus élevés. Cependant, l'exposition de proximité est généralement de plus courte durée, comme par exemple dans le cas de l'exposition des automobilistes, des cyclistes ou des piétons aux polluants émis par le trafic routier.

L'exposition individuelle aux COV est aujourd'hui très difficile à évaluer. En effet, les environnements fréquentés par les individus sont multiples, les COV présents sont divers et leurs teneurs sont variables dans le temps et dans l'espace. Tout d'abord, face à la multitude de COV auxquels les individus sont susceptibles d'être exposés, un choix d'indicateurs (ou de traceurs) s'impose. Ce choix est généralement effectué en fonction de l'impact sanitaire de chaque COV, de la simplicité et de la fiabilité de leur mesure, et éventuellement de leur spécificité vis-à-vis de la source d'émissions considérée.

Une fois ces indicateurs déterminés, l'évaluation de l'exposition peut se faire selon différentes approches :

- l'approche la plus directe consiste à effectuer, en continu sur une période donnée, une mesure personnalisée de l'exposition à un ou plusieurs COV d'un ensemble d'individus représentatifs de la population ciblée par l'étude. Cette évaluation est le plus souvent obtenue par l'utilisation de capteurs ou d'analyseurs portatifs. Une autre approche directe consiste à mesurer les concentrations en COV (ou leurs métabolites) à l'intérieur de l'organisme à l'aide de prélèvements biologiques (sang, urines). Il s'agit cependant d'études contraignantes qui se révèlent difficiles à généraliser sur de grandes populations.
- une approche moins directe vise à construire mathématiquement les profils d'exposition d'une population en combinant les durées moyennes de séjour dans chaque microenvironnement fréquenté avec les teneurs mesurées – ou calculées par modélisation – dans ces mêmes lieux à des moments comparables. Dans cette méthode, les sources d'erreurs sont plus importantes, liées à la difficulté de bien cerner les budgets espace-temps des populations, d'effectuer un recensement exhaustif des environnements fréquentés et de connaître la distribution spatio-temporelle des teneurs en COV dans chacun d'eux.
- plus généralement, l'exposition est souvent évaluée de manière indirecte et plus grossière, à partir des mesures des concentrations atmosphériques en polluants effectuées en continu par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, en situation de fond et de proximité du trafic automobile. Cependant, les COV ne sont que rarement inclus dans les mesures en routine, seul le benzène est réglementé et doit être mesuré.

Les méthodes de mesures des COV dans l'air

Les mesures des concentrations de COV dans l'air sont réalisées grâce à des prélèvements atmosphériques. Les propriétés physico-chimiques des COV vont conditionner le choix de la technique de prélèvement. La métrologie des COV se confronte à diverses difficultés, notamment la diversité des familles chimiques de COV, l'étendue des concentrations susceptibles d'être rencontrées, la diversité et les limites des techniques d'échantillonnage, de transfert d'échantillon et d'analyse. La méthode de mesure se compose généralement de trois étapes : le prélèvement d'un échantillon d'air, l'extraction à partir de cet échantillon des COV à mesurer et le dosage de ces COV.

Les prélèvements se font en général par passage d'un grand volume d'air à analyser au travers d'une solution absorbante ou d'un filtre adsorbant, qui permettent de fixer le ou les COV à mesurer. Ils peuvent être effectués de manière passive ou dynamique.

Echantillonneurs passifs (ou tubes à diffusion passive)

Les échantillonneurs passifs permettent de piéger le ou les polluant(s) recherché(s) sur un support contenant un adsorbant (carbone graphitisé) spécifique au polluant, et ceci à l'aide du principe de diffusion passive de l'air ambiant. Ainsi, l'une des solutions utilisées par Airparif pour prélever les COV dans l'air, dans le cadre de la surveillance en continu ainsi que des campagnes temporaires, est l'échantillonneur passif. Il se présente sous la forme d'une cartouche absorbante insérée dans un tube qui est maintenu en position horizontale au sein d'un abri de protection. Les cartouches absorbantes, imprégnées d'un réactif chimique spécifique, piègent les COV recherchés au fur et à mesure que l'air circule avec un débit connu à travers le tube. Après une certaine période d'exposition (par exemple une semaine), les tubes sont analysés en laboratoire afin de déterminer la concentration moyenne de polluant dans l'air ambiant au cours de la période d'exposition considérée. Les analyses sont réalisées par chromatographie en phase gazeuse et détecteur à ionisation de flamme. Les outils métrologiques les plus performants permettent à l'heure actuelle de rechercher une quarantaine de COV différents.

Cette technique de mesure est fiable, peu encombrante, simple et rapide à mettre en œuvre par rapport aux prélèvements dynamiques. Elle permet d'instrumenter simultanément un nombre important de sites de mesure et notamment d'approcher finement la répartition spatiale des concentrations de nombreux COV. Cette méthode est largement utilisée pour la mesure des concentrations de COV dans l'air ambiant.

Prélèvements dynamiques

Dans le cas des prélèvements dynamiques, une pompe est utilisée afin d'aspirer un volume connu d'air dans un tube, le débit d'air étant alors fixé. L'air passe ensuite à travers un support adsorbant, par exemple du carbone graphitisé. On considère que, dans certaines conditions, la quantité de polluants fixée sur le support permet de calculer la concentration moyenne de COV dans l'air prélevé pendant la durée de pompage. Pour les analyses, la restitution des COV adsorbés peut ensuite se faire par extraction par solvant ou par extraction thermique. Ce type de prélèvement est utilisé par Airparif sur les sites des Halles, du Périphérique au niveau de la Porte d'Auteuil et de la Place Victor Basch, avec une analyse réalisée en direct suite au prélèvement ou en différé en laboratoire.

Tableau 16. Stations de mesures d'Airparif mesurant les BTEX à l'aide de tubes passifs

Type de station	Département	Nom
Urbaines	75	Paris 1 ^e Les Halles
		Paris 18 ^e
	92	Neuilly-sur-Seine
		Gennevilliers
		Issy-les-Moulineaux
	93	Aubervilliers
		Saint-Denis
	94	Vitry-sur-Seine
Nogent-sur-Marne		
Périurbaines	95	Gonesse
Trafic	75	Boulevard périphérique Auteuil
		Place Victor Basch

Source : Airparif, 2007

Incertitudes

Lorsque l'on réalise une mesure, le résultat n'a de sens que s'il est muni de son incertitude. En effet, des erreurs peuvent avoir lieu à chaque étape de la mesure : lors du prélèvement, de l'analyse, de l'acquisition des résultats de mesure, etc. Dans le cas des échantillonneurs passifs, l'incertitude peut également provenir de l'applicabilité de la théorie de la diffusion passive selon les conditions météorologiques. Ces sources d'erreurs entraînent une dispersion des résultats produits et l'incertitude permet de quantifier cette variation. Elle définit, en effet, l'intervalle dans lequel la valeur vraie de la concentration se situe et avec quelle probabilité. Elle caractérise ainsi la qualité du résultat produit : plus elle est faible, meilleur sera le résultat. L'incertitude globale est égale à la combinaison des incertitudes provenant de chacune des sources individuelles d'erreur.

Des directives européennes fixent les seuils relatifs à l'incertitude maximale acceptable associée à la mesure des différents polluants réglementés. Dans le cas des échantillonneurs passifs, l'incertitude globale est limitée à 30 % pour le benzène.¹⁰

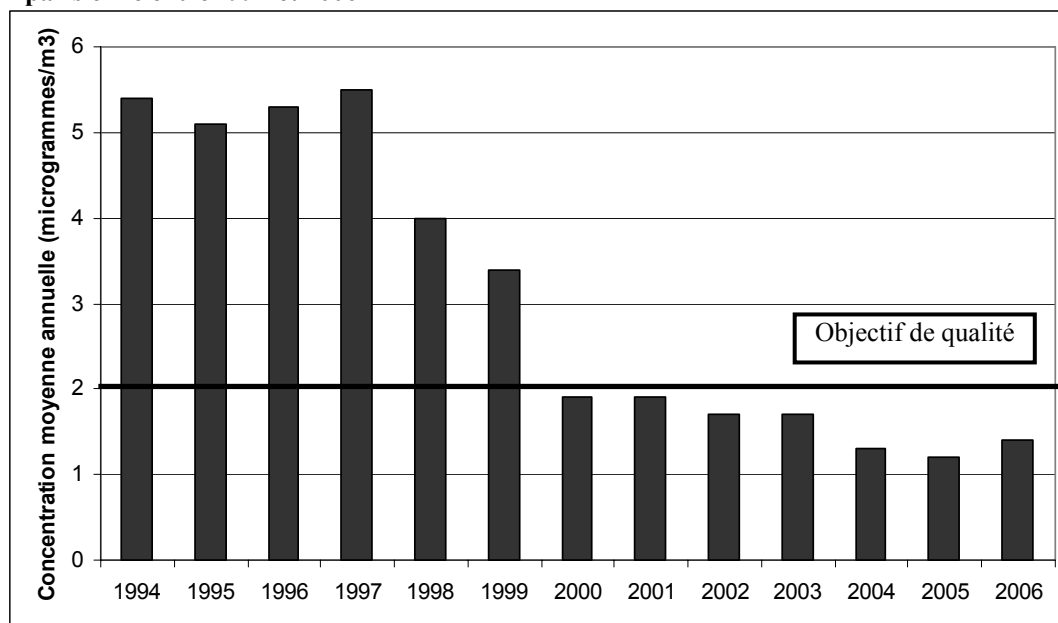
L'exposition de fond aux COV en Ile-de-France

Afin d'évaluer l'exposition de fond aux COV de la population francilienne, un choix d'indicateurs s'impose. Ce choix s'effectue selon des critères techniques (il faut que les COV soient techniquement mesurables), des critères sanitaires (ils sont réglementés ou ils ont des effets connus), et historiques (ils sont considérés comme prioritaires en fonction des niveaux habituellement relevés et comparés aux normes existantes ou futures). La liste d'indicateurs peut donc évoluer en fonction des nouvelles technologies et des études scientifiques. Parmi les COV, les composés communément nommés BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont considérés comme étant de bons indicateurs de la pollution urbaine, précisément induite par le trafic routier, et sont donc très souvent mesurés. En particulier, le benzène est le seul COV réglementé et il doit être mesuré en routine par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

Dans le cadre de sa mission réglementaire de surveillance de la qualité de l'air, Airparif évalue régulièrement les niveaux de concentrations en polluants en Ile-de-France. Pour ce faire, il dispose d'un réseau de 47 stations de mesure et parmi ces stations, 10 mesurent les BTEX à l'aide de tubes

¹⁰ Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant

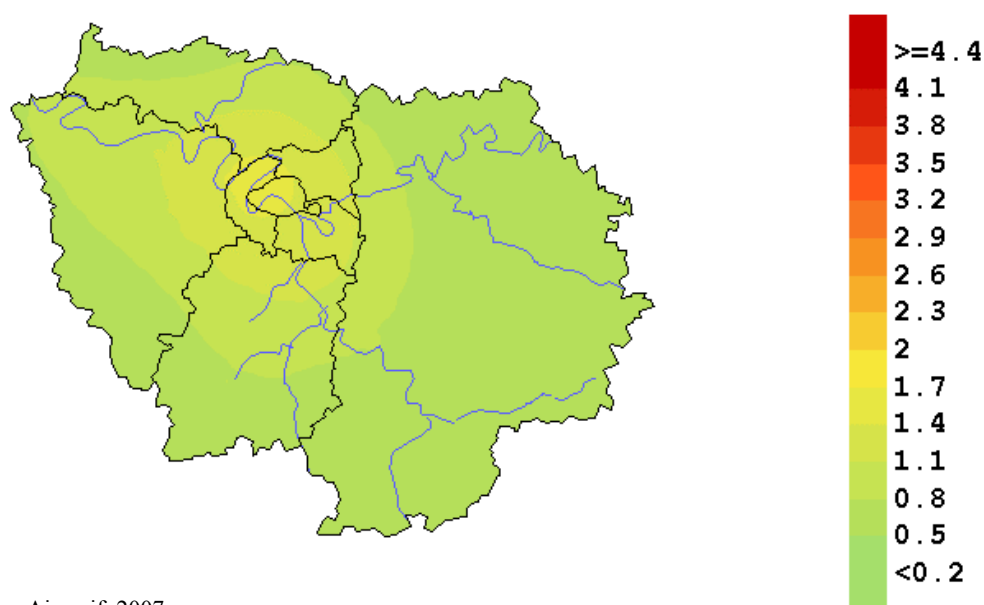
Figure 5. Evolution de la concentration moyenne annuelle de benzène dans l'air dans l'agglomération parisienne entre 1994 et 2006



Résultats obtenus à partir d'un échantillon constant de quatre stations urbaines de fond

Source : Airparif, 2007

Figure 6. Carte des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air en Ile-de-France en 2006



Source : Airparif, 2007

passifs en situation de fond, dont 9 stations urbaines et 1 station périurbaine (Tableau 16). Les mesures réalisées permettent d'évaluer la concentration moyenne annuelle dans l'air pour chaque polluant étudié. Ainsi, la Figure 5 représente l'évolution de la concentration moyenne annuelle de benzène dans l'air de l'agglomération parisienne entre 1994 et 2006. Celle-ci a diminué de 74 % durant cette période. En situation de fond, après une très forte diminution enregistrée entre 1998 et 2000 liée à la diminution du taux de benzène dans les carburants, les niveaux sont restés relativement stables jusqu'en 2003 pour, à nouveau, diminuer en 2004. Cependant, une légère augmentation est à noter en 2006 (Airparif, 2007). La Figure 6 représente la carte des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air en Ile-de-France en 2006. La Figure 7 représente les concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air pour chaque station de mesure, entre 2004 et 2006. En Annexe 6 sont présentées les différentes valeurs fixées dans la réglementation, notamment la valeur limite et l'objectif de qualité pour le benzène. En situation de fond, les stations franciliennes respectent toutes l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène et ceci depuis 2002.

Outre le benzène, d'autres hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) sont mesurés par Airparif : le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Les concentrations moyennes annuelles de ces HAM dans l'air en situation de fond sont présentées dans la Figure 8, il s'agit de la « moyenne agglomération », calculée à partir des mesures de certaines stations. Le toluène est le polluant présentant les niveaux les plus élevés. Toutefois, ces polluants ne sont pas réglementés actuellement.

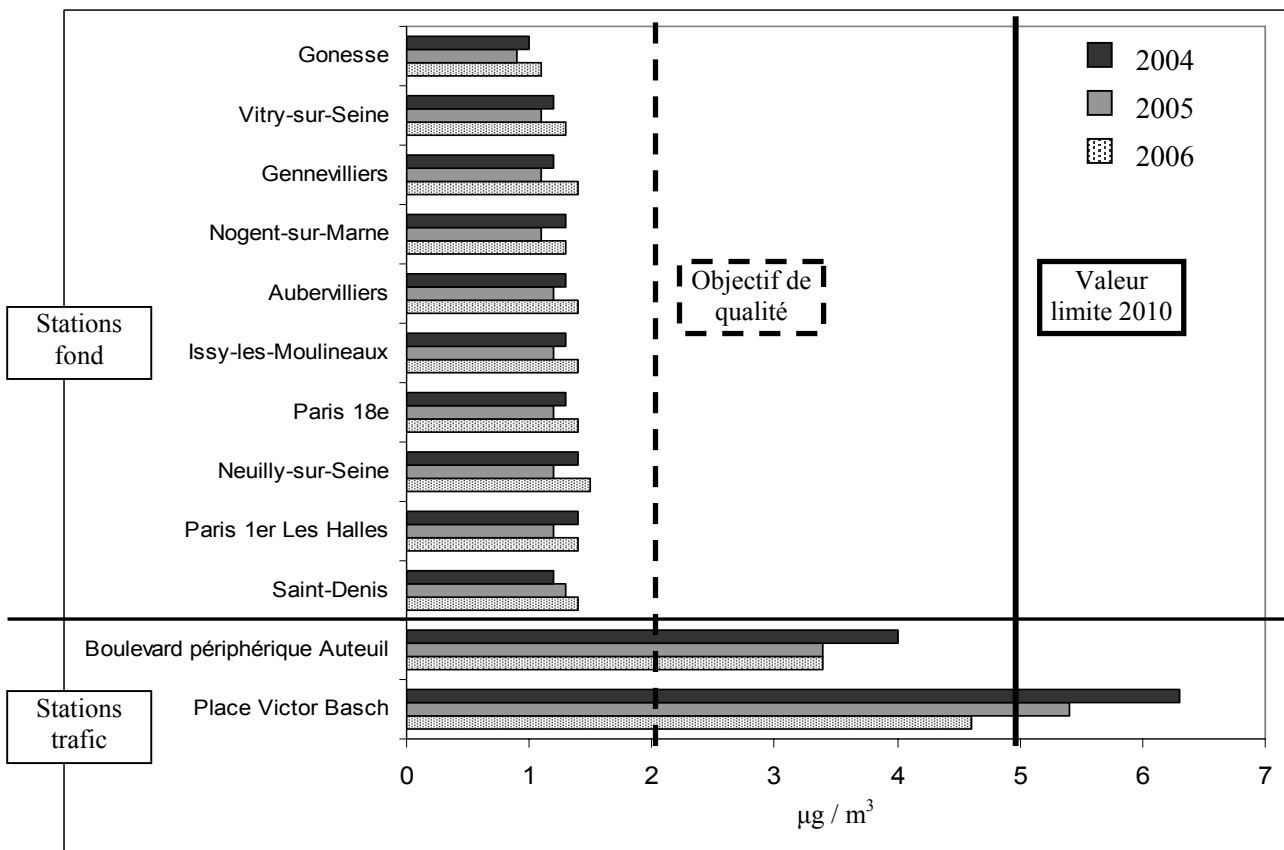
Enfin, il faut noter que les concentrations en COV dans l'air dépendent de la saison. En effet, en été, les conditions météorologiques sont plus favorables à la dispersion des COV et la possibilité de dégradation photochimique est plus importante. Ceci conduit généralement à des niveaux plus faibles durant la période estivale.

Des expositions de proximité très diverses

Démarche pour l'évaluation de l'exposition de proximité

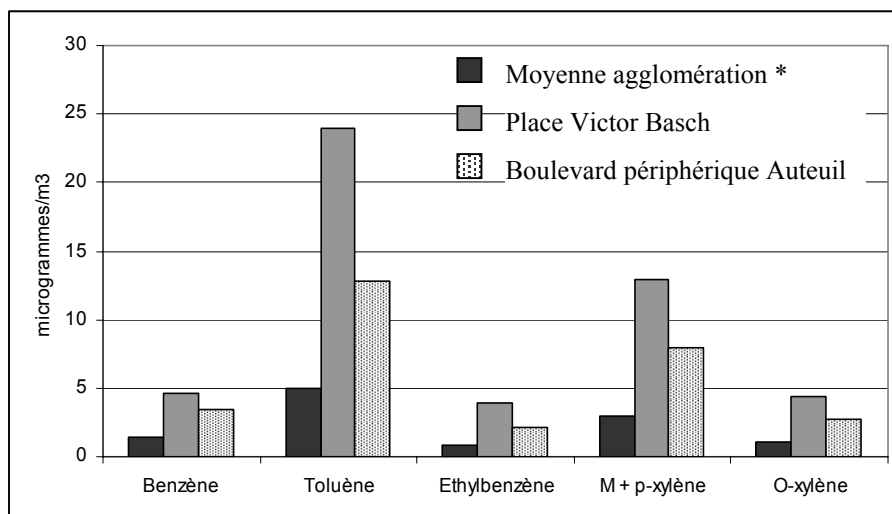
Puisque les sources d'émissions de COV sont multiples (cf. chapitre « Sources d'émissions en Ile-de-France » p 21), la population est susceptible de se trouver à proximité de sources d'émissions et donc d'être exposée à des concentrations en COV plus importantes que celles mesurées en situation de fond. La fréquence et l'intensité de ces expositions dépendent des activités et des micro-environnements fréquentés par les individus. Ces pollutions de proximité sont très diverses et généralement très localisées : elles sont susceptibles d'entraîner des expositions spécifiques à certains COV, de manière

Figure 7. Concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air en Ile-de-France de 2004 à 2006



Source : Airparif, 2007

Figure 8. Concentrations moyennes annuelles dans l'air des cinq hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) mesurés en Ile-de-France en 2006



* moyennes des stations de fond de Paris 1^{er} Les Halles, Paris 18^e, Gennevilliers, Issy-les-Moulineaux, Neuilly-sur-Seine, Aubervilliers, Saint-Denis, Nogent-sur-Marne, Vitry-sur-Seine et Gonesse

Source Airparif, 2007

épisodique et sur une courte durée.

L'exposition à proximité d'une source de COV peut être évaluée grâce à des campagnes de mesures spécifiques réalisées à proximité de cette source, ou à l'aide de modélisations réalisées à partir des émissions de la source considérée et des caractéristiques environnementales autour de la source. Pour évaluer l'impact des activités émettrices de COV, il est important de bien définir les zones susceptibles d'être concernées par cette exposition et d'identifier les COV à mesurer, c'est-à-dire les traceurs de l'activité considérée. Dans le cadre de ce rapport, les principaux types d'exposition de proximité sont présentés.

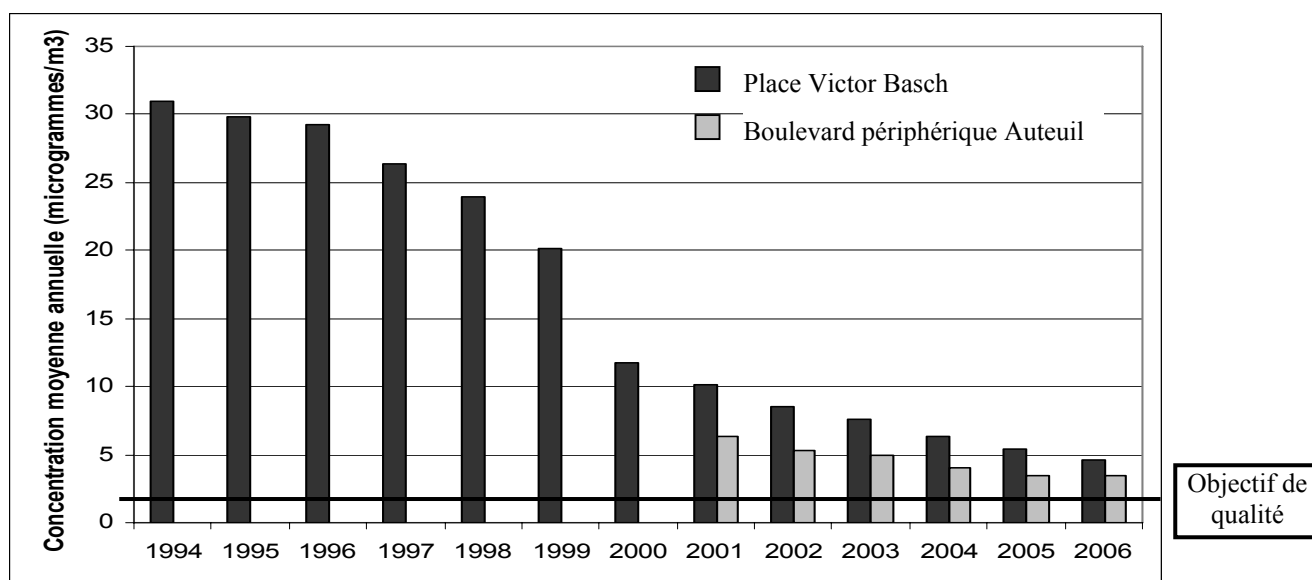
Exposition à proximité du trafic routier

L'évaluation des niveaux de pollution à proximité des axes de circulation est complexe, compte tenu des nombreux facteurs à prendre en compte. En effet, les concentrations de polluants en bordure des voies dépendent à la fois des émissions locales générées par le trafic automobile (dépendant elles-mêmes des conditions de circulation et de la composition du parc automobile), des paramètres influant sur la dispersion des polluants (météorologie locale et configuration des voies de circulation) et des niveaux de concentration de fond des zones environnantes (Airparif, 2005).

Le réseau de surveillance d'Airparif

Outre les concentrations en polluants en situation de fond, Airparif évalue également de manière régulière les niveaux atteints à proximité du trafic routier. Pour cela, des stations de mesures sont implantées sur des trottoirs, à proximité immédiate du trafic. L'objectif est d'implanter des stations sur un échantillon d'axes représentatifs des différentes typologies rencontrées dans le cœur de l'agglomération parisienne (Airparif, 2005). A l'heure actuelle, Airparif dispose de deux stations de mesures fixes mesurant les BTEX à l'aide de tubes passifs et situées à proximité du trafic routier, l'une au niveau de la Place Victor Basch, depuis 1994, et l'autre au niveau du boulevard périphérique près d'Auteuil, depuis 2001 (Tableau 16). La Figure 9 représente l'évolution des concentrations moyennes annuelles en benzène dans l'air sur ces deux stations trafic. Les diminutions des concentrations sont importantes : la concentration moyenne annuelle en benzène dans l'air a diminué de 85 % entre 1994 et 2006 à la Place Victor Basch. La tendance des teneurs en benzène en proximité du trafic suit celle des autres polluants primaires directement émis par le trafic, avec une baisse plus marquée à partir de 2000, date à laquelle une réglementation européenne a limité le taux de benzène dans les carburants (Airparif, 2005). Par ailleurs, les teneurs de benzène sont plus faibles au niveau de la station située le long du boulevard périphérique, où le nombre de véhicules est plus important mais où la vitesse de

Figure 9. Evolution des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air sur les deux stations à proximité du trafic mesurant ce polluant, entre 1994 et 2006



Source : Airparif, 2007

circulation est plus élevée. Ceci s'explique par le fait que les faibles vitesses et les situations congestionnées favorisent les émissions de COV.

Entre 2004 et 2006, bien que l'on note une tendance globale à la diminution des concentrations sur les stations à proximité du trafic, le niveau annuel sur ces stations est encore très supérieur à l'objectif de qualité français de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 7). Sur la station de la place Victor Basch, il dépasse la valeur limite applicable en 2010 de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cf. Annexe 6). Si la diminution des concentrations est insuffisante, le risque de dépassement de la valeur limite en benzène existera en 2010 sur les sites à proximité du trafic les plus exposés.

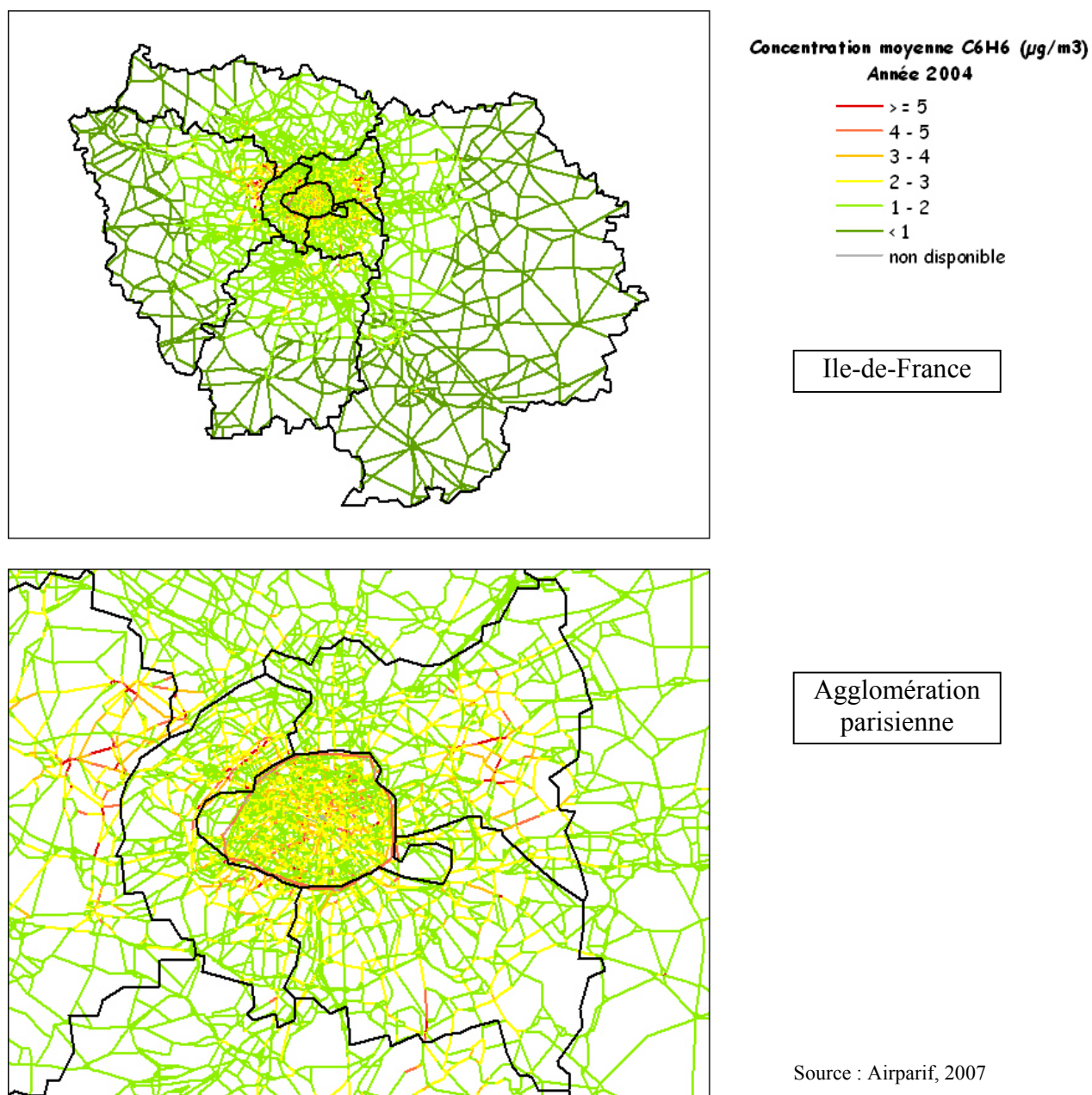
La Figure 8 permet de comparer les concentrations moyennes annuelles dans l'air de benzène, éthylbenzène, toluène et xylènes en situation de fond et sur les deux stations situées à proximité du trafic (Airparif, 2007). De même que pour le benzène, les concentrations en éthylbenzène, toluène et xylènes sont plus élevées à proximité du trafic qu'en situation de fond, et elles sont plus élevées à la Place Victor Basch qu'au niveau du boulevard périphérique.

La demande concernant la prise en compte de la pollution à proximité du trafic étant de plus en plus forte, Airparif a prévu un renforcement et une diversification du réseau de mesure en stations fixes. Pour ce faire, dans le cadre d'une campagne exploratoire, 13 stations à proximité du trafic automobile, mesurant les BTEX à l'aide de tubes passifs, sont en cours d'études. Plus spécifiquement, Airparif souhaite également installer une station dans le centre de Paris sur un axe à fort trafic automobile et très fréquenté par le public, afin d'être représentatif de l'exposition maximale des piétons et automobilistes. Dans ce sens, des campagnes de mesures ont été réalisées en 2006 dans le secteur Opéra/Haussmann et au niveau de la rue de Rivoli dans le secteur de Châtelet (Airparif, 2006). Ces campagnes ont mis en évidence des niveaux de pollution soutenus le long des axes de circulation. Pour le benzène, les concentrations sont 1,5 à 2,5 fois plus élevées qu'en site de fond. De plus, cette étude confirme le fait que les conditions de circulation (vitesse plus lente et congestion plus importante) jouent un rôle plus important que le volume de trafic. La moyenne annuelle pour le benzène est de l'ordre de $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, elle est donc inférieure à la valeur limite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mais dépasse sensiblement l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cf Annexe 6).

La modélisation

Les mesures réalisées au niveau des stations d'Airparif ne permettent pas de rendre compte de manière exhaustive des niveaux de pollution présents sur l'ensemble des axes routiers d'Ile-de-France. En effet, chaque portion de voirie représente un cas particulier et il est nécessaire de recourir à des approches combinées mêlant mesures par les stations du réseau de surveillance, techniques de modélisation à des échelles locales et campagnes de mesures spécifiques (Airparif, 2005).

Figure 10. Cartes des concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air sur le réseau routier en 2004, en Ile-de-France et dans l'agglomération parisienne



Les concentrations moyennes annuelles en polluants dans l'air, le long des axes routiers, peuvent être évaluées par modélisation, en prenant en compte les caractéristiques du réseau routier et du trafic franciliens. En effet, à partir d'un modèle de trafic et des caractéristiques du parc roulant francilien, l'application des facteurs d'émissions adaptés permet de déduire les émissions annuelles du trafic routier en Ile-de-France pour chaque axe de circulation. Ensuite est appliqué un modèle, appelé « STREET », qui permet d'évaluer, à partir des émissions, la concentration moyenne annuelle sur chacun des axes de circulation, en fonction notamment de ses caractéristiques environnementales (largeur de la rue, existence de bâti, continuité ou discontinuité des façades, etc.). Cette modélisation a été réalisée par Airparif pour l'année 2004. La Figure 10 représente les concentrations moyennes de benzène dans l'air sur le réseau routier en 2004, pour l'Ile-de-France et pour l'agglomération parisienne plus spécifiquement. Les résultats montrent une situation problématique à proximité du trafic avec des niveaux jusqu'à 4,5 fois supérieurs à la pollution de fond pour le benzène. Pour ce polluant, 14 % du réseau routier (1 400 km) présentent des niveaux annuels dépassant l'objectif de qualité, les trois quarts de ces axes se trouvant à Paris et en proche couronne. Ceci reflète les conditions de circulation de l'agglomération (vitesses faibles et situation de congestion) qui favorisent les émissions de COV par rapport aux vitesses plus soutenues du trafic en grande couronne. Sur ces 1 400 km, 700 km traversent des secteurs dont la densité de population est supérieure à la moyenne de l'agglomération parisienne (dont 400 km dans les zones les plus fortement peuplées de Paris et de la proche couronne) (Airparif, 2005).

Cependant, les résultats obtenus sont entachés d'une incertitude liée à de nombreux facteurs : la qualité du modèle de trafic, la précision des connaissances sur la composition du parc roulant sur les différents axes franciliens, les facteurs d'émissions associés à chaque classe de véhicules, l'application du modèle « STREET ». Pour le benzène, cette incertitude s'élève à environ 40 % de la concentration.

Enfin, il s'agit d'une première étape de modélisation qui a permis d'estimer les concentrations moyennes annuelles en polluants à l'aide d'un outil de modélisation relativement simple. D'autres modélisations plus complexes, décrivant par exemple la décroissance des niveaux entre la proximité et la situation de fond sont actuellement à l'étude afin d'apporter une information encore plus fine sur cette problématique (Airparif, 2005).

Hiérarchie des expositions aux COV en fonction du mode de déplacement urbain

Une étude du LCPP ¹¹ et du LHVP ¹², réalisée de janvier 1996 à février 1998, a permis d'évaluer l'exposition des citoyens aux polluants d'origine automobile au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne (Coursimault *et al.*, 1998). Bien que cette étude soit aujourd'hui un peu

¹¹ Laboratoire Central de la Préfecture de Police

¹² Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris

ancienne, elle apporte des éléments intéressants permettant de hiérarchiser les modes de transport (véhicules particuliers, bus, métro, RER, vélo et marche) selon les niveaux d'exposition aux COV rencontrés. Les mesures ont été réalisées aux heures de forte affluence, par des prélèvements d'air à l'aide d'un sac à dos contenant le matériel de prélèvement placé au niveau des voies respiratoires. La durée des prélèvements était d'une heure, ce qui correspond au temps moyen de déplacement du citadin en région parisienne pour se rendre de son domicile à son lieu de travail. Des COV font partie des polluants étudiés, à savoir le benzène et le toluène.

Les résultats de cette étude ont mis en évidence trois groupes de situation :

- l'exposition la plus forte avait lieu dans l'habitacle des voitures, les niveaux les plus élevés étant obtenus sur le boulevard périphérique et les plus faibles sur l'autoroute ;
- les expositions les plus faibles avaient lieu lors des trajets à pied ou en métro, surtout lors des trajets à pied dans les quartiers piétonniers. L'exposition dans les RER était plus faible que dans les métros ;
- les trajets en vélo ou en bus présentaient des expositions comparables et intermédiaires.

Parmi les facteurs influençant les niveaux d'exposition, on retrouve les caractéristiques du trafic (vitesse des voitures, pourcentage de poids lourds...) et la proximité du flux de véhicules. Les expositions étaient plus fortes le matin et l'hiver, aussi bien pour les déplacements à l'air libre que ceux effectués dans les voitures et les transports en commun.

Exposition dans les parkings

La fréquentation d'un parking, notamment d'un parking couvert qui est un milieu confiné, est susceptible d'entraîner une exposition importante aux COV émis par le trafic automobile. Toutefois, les temps de séjour des usagers sont généralement très faibles et cette exposition concerne surtout les agents travaillant dans ces parkings.

Peu de travaux français se sont intéressés aux concentrations en polluants dans les parkings, et les COV n'ont été que très rarement mesurés. En 2005, les ministères de la Santé et de l'Ecologie et du Développement Durable¹³ ont demandé l'avis de l'Afsset sur des valeurs limites de concentration en polluants à respecter dans l'air des parcs de stationnement couverts. Un groupe de travail a alors été mis en place pour émettre des recommandations pour la qualité de l'air dans ces parcs de stationnement couverts et un avis a été publié le 4 mai 2007. Dans le cadre de ce travail, des campagnes de mesures

¹³ aujourd'hui appelé ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable

ont été réalisées dans quatre parcs de stationnement couverts, présentant des typologies et des niveaux de concentrations contrastés. L'objectif était de réaliser une évaluation exploratoire de la qualité de l'air au sein de ces parcs de stationnement. Une quarantaine de substances ont été mesurées dont des COV (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes, 1,2,4-triméthylbenzène, styrène, hexane, heptane, acétaldéhyde, formaldéhyde, hexaldéhyde, propionaldéhyde, benzaldéhyde). Ces mesures tendent à montrer que la qualité de l'air dans les parkings couverts est insuffisante au regard de la santé des usagers et surtout des professionnels exerçant une activité régulière dans ces parkings. Dans ce sens, les teneurs en benzène et toluène sont environ 10 fois supérieures à celles observées en situation de proximité automobile. En revanche, les teneurs en aldéhydes sont relativement faibles et comparables à celles observées dans les logements (cf. paragraphe « Exposition à l'intérieur des bâtiments » p 68).

Exposition dans la filière du carburant

Exposition à proximité des stations-service

Les stations-service, du fait de leur activité de distribution de carburants, sont un lieu où l'exposition aux COV est susceptible d'être importante. Cependant, l'exposition de la clientèle lorsqu'elle fait le plein peut être considérée comme épisodique et de courte durée (3 minutes en moyenne selon l'ORAMIP¹⁴), elle est donc très faible. L'exposition concerne davantage les employés et le voisinage de ces stations.

Des études se sont intéressées à ces expositions dans les stations-service et à proximité de celles-ci. Ainsi, une étude de l'Union Française des Industries Pétrolières (UFIP) relative au benzène mesuré en périphérie des stations-service a été réalisée en 2005 à la demande du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable¹⁵ (UFIP, 2006). Dans cette étude, 43 stations-service de la région parisienne et de l'Est de la France, classées en trois catégories (hors agglomération, urbaines, confinées/sous immeuble), ont été prises en compte. Pour chaque station-service, les concentrations ont été mesurées dans trois types de zones : éloignées de la station-service (situation de fond), en limite de propriété et à l'intérieur de la station (au niveau des pompes). Les valeurs obtenues en limite de propriété traduisent le niveau de concentration maximal auquel peut être soumis le voisinage du fait de la station-service.

Dans cette étude, les concentrations observées en limite de propriété étaient de 1,2 µg/m³ hors agglomération, de 2,8 µg/m³ pour les stations urbaines et de 8,2 µg/m³ pour les stations confinées. Pour les stations-service rurales et urbaines, l'écart entre les concentrations en limite de propriété et en

¹⁴ Observatoire Régional de l'Air en Midi-Pyrénées

¹⁵ aujourd'hui appelé ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable

situation de fond était faible, l'impact de ces stations peut donc être considéré comme négligeable. En revanche, pour les stations-service confinées, un faible impact subsiste, mais une amélioration peut être observée : l'écart entre les concentrations en limite de propriété et en situation de fond a été divisé par trois par rapport à la décennie précédente. En outre, selon cette étude, la contribution d'une station-service confinée serait du même ordre que celle d'un parking ou d'un lieu à fort trafic ou embouteillé. Par ailleurs, il faut noter l'influence du vent (intensité, direction) et de la ventilation sur les niveaux de concentrations obtenus. Enfin, l'écart entre les concentrations au niveau des pompes et en limite de propriété (5 à 10 mètres plus loin en ville) reste considérable.

Pour limiter cette exposition, les stations-service dont le débit en essence est supérieur à 3000 m³ par an doivent, depuis 2001, être équipées de système de récupération des vapeurs afin de permettre le retour d'au moins 80 % des vapeurs dans les réservoirs (cf. paragraphe « Des mesures engagées pour la réduction des émissions » p 41).

Autres expositions dans la filière du carburant

Outre la distribution de carburant dans les stations-service, toutes les activités liées aux carburants peuvent entraîner une exposition aux COV. Elles concernent principalement les professionnels, tels que les mécaniciens et les citernistes. Deux études de l'INRS se sont intéressées à l'exposition au benzène de ces professionnels (INRS, 2000 ; INRS, 2002). Ces études ont montré que le benzène présentait un risque par inhalation mais aussi par contact cutané, notamment pour les mécaniciens. En effet, pour ces derniers, l'exposition a lieu surtout lors d'interventions sur le moteur et sur le réservoir, notamment lors du démontage du filtre à essence, de la manipulation du carburant ou encore le lavage des mains à l'essence. En conclusion, ces études soulignent l'importance de sensibiliser les professionnels en contact avec des carburants sur le risque d'exposition aux COV, risque modéré mais patent.

Exposition à proximité des aéroports

Deux campagnes spécifiques de mesures de polluants atmosphériques ont été réalisées par Airparif à proximité des plates-formes aéroportuaires franciliennes : la première autour de Roissy-Charles de Gaulle et du Bourget (Airparif, 2003) et la seconde autour d'Orly (Airparif, 2004).

Lors de ces campagnes, de nombreux sites de mesure, instrumentés à l'aide d'échantillonneurs passifs, ont été mis en place dans un rayon de 5 kilomètres autour des plates-formes (60 sites de mesure autour de Roissy-CDG et plus de 50 sites autour d'Orly). Ceci a permis de surveiller l'impact éventuel des émissions du trafic aérien au sein de la couche basse de l'atmosphère, lors du cycle d'atterrissage et de

décollage. Les stations de mesures étaient réparties de manière homogène dans le périmètre de la zone étudiée, avec une densification des sites à proximité des plates-formes.

Lors de la première campagne autour de Roissy-CDG, une étude exploratoire sur 41 COV a été réalisée afin d'identifier un ou des composés traceurs de l'utilisation du carburéacteur. Cette étude n'a cependant pas permis d'identifier de traceurs (Airparif, 2003). C'est pourquoi, lors des deux campagnes de mesure, le benzène, seul COV réglementé actuellement, a été le seul mesuré. Les concentrations moyennes annuelles de benzène dans l'air pour l'ensemble du domaine d'étude ont été évaluées à partir des résultats des séries de mesures et grâce à des techniques d'interpolation. L'incertitude associée à ces concentrations moyennes annuelles de benzène est de l'ordre de 20 %. Au voisinage des plates-formes aéroportuaires de Roissy-Charles de Gaulle et d'Orly, aucun impact lié au fonctionnement de l'aéroport n'a été décelé pour le benzène, ce qui est cohérent avec le fait que ce composé est très peu présent dans les carburants majoritairement utilisés sur les plates-formes. Les niveaux annuels de benzène les plus élevés ont été observés le long des axes routiers les plus importants et ils diminuent rapidement dès lors que l'on s'éloigne de cette source, pour atteindre les niveaux de fond.

La recherche d'un ou des traceurs spécifiques du carburéacteur représente donc une étape importante à franchir pour pouvoir évaluer l'impact dû au seul trafic aérien sur la qualité de l'air.

Exposition à proximité des sites industriels

De nombreux COV sont utilisés ou produits par les sites industriels et sont donc susceptibles d'être rejetés dans l'air ambiant. La population vivant à proximité de ces sites est ainsi potentiellement exposée à cette pollution localisée.

Les installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation doivent répondre à des exigences de surveillance de la qualité de l'air fixées par arrêté. C'est dans ce cadre que certaines industries, faisant partie des plus forts émetteurs de COV de l'industrie francilienne, sollicitent Airparif afin qu'il évalue l'impact de certains de leurs sites sur la qualité de l'air environnant. Dans ce sens, des études ont été réalisées à proximité de centres de production de grands constructeurs automobiles (PSA Peugeot Citroën et Renault) pour évaluer leur impact sur les concentrations en COV dans l'air ambiant (Airparif, 2004 ; Airparif, 2004 ; Airparif, 2006).

La méthode classique consiste à comparer, dans le secteur proche du site, les niveaux de COV rencontrés dans les zones non influencées par le site avec ceux rencontrés sous l'influence directe du site. La première étape est d'identifier les COV les plus pertinents pour évaluer l'impact des activités

du site, c'est-à-dire les traceurs spécifiques de l'activité considérée. La liste des COV mesurés dans le cadre des trois campagnes de mesure d'Airparif se trouve dans l'Annexe 7. Différents sites de mesure sont installés selon un plan d'échantillonnage qui doit permettre de connaître les concentrations en COV au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site et dans de multiples directions. La modélisation numérique de la dispersion des émissions permet de fixer les limites du secteur d'étude et de définir de manière théorique les emplacements des sites de mesure. Des sites de mesure sont également implantés dans d'autres environnements franciliens (zone rurale, différents degrés d'urbanisation, proximité du trafic routier) et en situation de fond, c'est-à-dire dans des zones non influencées par d'autres sources de COV, pour pouvoir effectuer des comparaisons. Un programme de mesure est ensuite défini afin de caractériser les concentrations dans le domaine d'étude pour des conditions météorologiques distinctes, mais aussi de comparer les niveaux rencontrés durant le fonctionnement et l'arrêt du site. Généralement, les mesures sont effectuées durant deux périodes, l'hiver et l'été. L'analyse des conditions météorologiques et en particulier des régimes de vents permet ensuite de déterminer les zones du domaine d'étude les plus soumises à l'influence des activités du site ainsi que les zones non influencées par celles-ci.

Ces études montrent que l'impact est généralement important à proximité du site et sous le vent de ce dernier, mais qu'il s'agit d'un impact très localisé. Les niveaux observés peuvent être largement supérieurs pour certains composés aux niveaux rencontrés dans d'autres environnements franciliens, que ce soit à proximité du trafic automobile ou en situation de fond.

En effet, par exemple, la part attribuable au centre de production de Renault à Flins représente 60 à 80 % des concentrations totales en COV traceurs des activités de peinture observées sous le vent de l'atelier et à moins de 1,2 km de ce dernier. Celle du centre de production de PSA Peugeot Citroën à Poissy représente 55 à 75 % des concentrations totales en COV traceurs observées sous le vent de l'atelier et à moins de 1 km de celui-ci. Si on considère les COV traceurs individuellement, les concentrations moyennes en zone d'impact maximal sont sensiblement plus élevées que celles observées en zone non influencée : environ 2 à 20 fois plus élevées à proximité de Renault Flins, environ 2 à 15 fois à proximité de PSA Poissy. Cependant, l'impact se restreint à proximité du centre de production. En effet, par exemple pour le site de Renault Flins, les niveaux moyens sous le vent du site à une distance comprise entre 1,3 et 3 km sont proches de ceux rencontrés au vent du site.

Exposition à l'intérieur des bâtiments

L'exposition aux COV à l'intérieur des bâtiments contribue de manière non négligeable à l'exposition totale de la population aux COV. En effet, la population passe en moyenne une part très importante de

son temps à l'intérieur de bâtiments (70 à 90 %), dont le logement, mais aussi le lieu de travail, les lieux publics, etc. De plus, l'amélioration de l'isolation contribuant au confinement des bâtiments et une ventilation insuffisante sont susceptibles d'entraîner des concentrations élevées en polluants dans l'air intérieur, qui peuvent être même supérieures à celles retrouvées dans l'air extérieur. La qualité de l'air intérieur est, en effet, influencée par la pollution extérieure qui pénètre dans les bâtiments, mais aussi par de nombreuses sources spécifiques (cf. paragraphe « Les sources à l'intérieur des bâtiments » p 40).

L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) a fourni la première référence disponible sur la qualité de l'air dans les logements en France (OQAI, 2006). En effet, entre 2003 et 2005, une campagne nationale de mesures a été organisée par l'OQAI, dans le cadre de laquelle 567 logements ont été enquêtés et de nombreux paramètres mesurés : des paramètres chimiques, dont des COV, ainsi que des paramètres physiques et biologiques. Vingt COV ont été mesurés à l'intérieur de la chambre et à l'extérieur du logement : des aldéhydes (acétaldéhyde, acroléine, formaldéhyde, hexaldéhyde), des hydrocarbures (benzène, 1,4-dichlorobenzène, éthylbenzène, n-décane, n-undécane, styrène, tétrachloroéthylène, toluène, trichloroéthylène, 1,2,4-triméthylbenzène, m/p-xylène, o-xylène) et des éthers de glycol (2PG1ME, EGBE et leur acétate).

Les résultats de cette campagne ont montré qu'il existe une spécificité de la pollution à l'intérieur des logements par rapport à l'extérieur, qui s'exprime en particulier par la présence de certaines substances non observées à l'extérieur et par des concentrations nettement plus importantes à l'intérieur qu'à l'extérieur. De nombreux COV sont présents dans 100 % des logements (acétaldéhyde, formaldéhyde, hexaldéhyde, toluène, m/p-xylènes). Les aldéhydes sont parmi les molécules les plus fréquentes et les plus concentrées dans les logements. Parmi eux, le formaldéhyde est le COV le plus abondant en masse et près de 80 % des logements ont des concentrations de 5 à 50 fois plus fortes qu'à l'extérieur. Les hydrocarbures sont fréquents et pour le benzène, près de 80 % des logements ont des concentrations 1 à 5 fois plus fortes qu'à l'extérieur. En revanche, les éthers de glycols sont relativement peu fréquents. Par ailleurs, la répartition de la pollution liée aux COV n'est pas homogène dans le parc de logement : 45 % des logements présentent des niveaux faibles de concentrations en COV alors que 9 % présentent les plus fortes concentrations. De plus, la pollution est plus importante dans les garages attenants ou communicants que dans l'ensemble des logements.

Une réflexion sur les émissions de COV à l'intérieur des bâtiments est menée actuellement en France. Elle concerne pour l'instant les matériaux de construction. En effet, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France a émis en 2002 un avis relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions de COV par les produits de construction (CSHPF, 2002). De plus, dans le cadre du Plan National Santé Environnement (PNSE), une action vise à « mettre en place un étiquetage des caractéristiques sanitaires et environnementales des produits et matériaux de construction » (Ministère de la Santé et

de la Protection sociale, 2004). L'objectif est qu'à l'horizon 2010, 50 % des produits de construction mis sur le marché disposent d'un étiquetage informant l'utilisateur de leurs caractéristiques sanitaires et environnementales. Il est précisé qu'une méthodologie d'évaluation des impacts sanitaires et environnementaux des émissions, fondée sur la définition de valeurs de référence, doit être développée et appliquée, dans un premier temps, aux émissions de COV.

C'est dans ce contexte qu'en 2004, les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé ont saisi l'Afsset afin qu'elle élabore une procédure d'évaluation des risques liés aux produits de construction (Afsset, 2006). Un groupe de travail a été mis en place et a proposé une procédure de qualification des produits de construction sur la base de leurs émissions de COV et de critères sanitaires. Cette qualification repose sur la réalisation d'essais pour tester les émissions d'un produit de construction dans des conditions réalistes d'utilisation. Ces essais doivent permettre de calculer quelle serait la concentration d'exposition en COV dans une pièce témoin à l'intérieur de laquelle le produit aurait été appliqué ou utilisé. Des normes fixent la manière dont doivent être conduits ces essais d'émission.¹⁶ Le principe de qualification des produits de construction consiste alors à comparer les concentrations ainsi déterminées à des valeurs limites d'émission. Si ces valeurs limites ne sont pas dépassées, le matériau testé est jugé conforme au protocole. L'Afsset a proposé des valeurs limites d'émission qui tiennent compte à la fois de la toxicité des substances individuelles, de la toxicité particulière associée aux composés cancérigènes et de l'inconfort général pouvant être perçu lié à la pollution de l'air par les COV (limitation des COV totaux). Il s'agit d'une première étape et il est envisagé d'élargir cette démarche aux autres sources de COV présentes dans les espaces clos (ameublement, décoration, produits d'entretien, appareils domestiques, etc.).

¹⁶ Séries de normes ISO 16000 – Air intérieur

Effets sur la santé

Il existe une multitude de COV appartenant à diverses familles chimiques et ayant donc des propriétés tout aussi diverses. Les COV sont donc susceptibles d'affecter toutes les fonctions de l'organisme et d'avoir des effets divers sur la santé humaine. Cette partie a pour objectif de préciser le devenir des COV dans l'organisme et de décrire leurs principaux effets sur la santé humaine, lorsqu'ils sont connus. Il est bien sûr impossible de décrire tous les effets sanitaires de tous les COV. De plus, la plupart des COV sont peu étudiés et leurs effets encore peu documentés. C'est pourquoi, pour délimiter le champ de cette partie, nous avons décidé de prendre en compte les principaux COV étudiés, à savoir le benzène, l'éthylbenzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le trichloroéthylène, le tétrachloroéthylène et le formaldéhyde.

L'objectif n'était pas d'établir une liste exhaustive de tous les effets de ces COV sur la santé, mais de présenter leurs principaux effets. La recherche bibliographique a été principalement axée sur les fiches toxicologiques de ces COV, celles établies notamment par l'INERIS ¹⁷ et l'INRS ¹⁸. Les données collectées ont été complétées par une recherche dans Pubmed des données récentes sur les effets sanitaires de ces COV ainsi que sur les effets d'une exposition à des mélanges de COV, notamment aux solvants. Les sites internet des organismes établissant des classifications des substances chimiques selon leurs pouvoirs cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction ont également été consultés (Union européenne, CIRC ¹⁹).

A partir de cette identification des principaux effets sur la santé des COV, il apparaît important d'évaluer les risques sanitaires pour la population. Compte tenu de la multitude de COV susceptibles d'entraîner un risque sanitaire, il est indispensable de définir des priorités : il faut identifier les COV qui pourraient être considérés comme prioritaires en terme de risques sanitaires, pour notamment pouvoir prendre d'éventuelles mesures de gestion des risques. Pour cela, il est indispensable de bien préciser les milieux étudiés (milieu extérieur, milieux intérieurs tels que les lieux publics, les bâtiments de travail, etc.) et d'identifier les COV prioritaires dans ces milieux. Des travaux se sont intéressés à cette question, ils sont présentés à la fin de cette partie.

¹⁷ Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

¹⁸ Institut National de Recherche et de Sécurité

¹⁹ Centre International de Recherche sur le Cancer

Tableau 17. Taux d'absorption et organes cibles pour les principaux COV

COV	Voies d'exposition	Taux d'absorption		Organes cibles	
		Homme	Animal	Principal	Secondaire
Benzène	Inhalation	50 %	nd	Système hématopoïétique	Système nerveux central et système immunitaire
	Ingestion	nd	97 %	Système hématopoïétique	Système immunitaire
Toluène	Inhalation	50 %	nd	nd	
	Ingestion	100 %	nd	Système nerveux central	Foie, rein, fœtus, lait maternel
Xylènes	Inhalation	62-64 %	nd	Système nerveux central, foie, sang, poumons	Peau, rate, rein
	Ingestion	nd	nd	Aucun	
Ethylbenzène	Inhalation	49-64 %	44 %	Foie, rein	Système hématologique
	Ingestion	nd	nd	nd	
Formaldéhyde	Inhalation	nd	100 %	Voies aériennes supérieures	Peau
	Ingestion	nd	90 %	nd	Système nerveux central
Trichloroéthylène	Inhalation	nd	31-79 %	Système nerveux central	Rein, foie, cœur, système immunitaire, peau
	Ingestion	nd	80-98 %	nd	
Tétrachloroéthylène	Inhalation	nd	40-50 %	Système nerveux central	Foie, rein
	Ingestion	nd	82-100 %	Rein	

nd = non déterminé

Sources : fiches toxicologiques de l'INERIS

Le devenir des COV dans l'organisme

Absorption

Du fait de la volatilité des COV et donc de leur large présence dans l'air, la principale voie d'exposition aux COV est l'inhalation. Les voies digestive et cutanée demeurent en général secondaires pour la population générale, elles concernent essentiellement les ingestions accidentelles ou volontaires ou les contacts cutanés prolongés en milieu industriel. Après inhalation, les substances sont partiellement ou totalement absorbées au niveau des poumons. Les taux d'absorption sont variables d'un composé à l'autre, par exemple proches de 50 % pour le benzène et le toluène (INERIS, 2006 ; INERISa, 2005), compris entre 62 et 64 % pour les xylènes (INERISb, 2005) et entre 49 et 64 % pour l'éthylbenzène (INERISc, 2005). De plus, les COV sont en général rapidement absorbés, par exemple 10 à 15 minutes après le début de l'exposition pour le toluène (Carlsson, 1982).

Distribution

Après absorption, les COV sont distribués via le sang à l'ensemble de l'organisme. En fonction de leurs propriétés, ils vont se retrouver dans différents organes. Ainsi, de nombreux COV sont lipophiles (benzène, toluène,...), c'est-à-dire que leurs concentrations sont plus élevées dans les tissus riches en graisses, comme le tissu adipeux et la moelle osseuse. Les organes susceptibles d'être touchés sont très nombreux. Le toluène s'accumule dans les tissus adipeux, le cerveau, le sang, le foie, le rein, la moelle osseuse. De même, il a été constaté la présence de xylène dans le sang, mais aussi l'estomac, le foie, les reins, le cerveau, le myocarde, les tissus adipeux. Le Tableau 17 présente les taux d'absorption ainsi que les organes cibles pour les principaux COV.

Transformation métabolique

Une transformation métabolique, notamment au niveau du foie, a en général lieu et aboutit à la formation de métabolites, souvent hydrosolubles et qui pourront donc être éliminés par voie rénale. Dans certains cas, les premières étapes du métabolisme peuvent former des dérivés hautement toxiques pour l'homme. Ainsi, la toxicité du benzène s'expliquerait par la formation d'intermédiaires radicalaires (dérivés époxybenzène, phénoxy, semiquinones...) extrêmement réactifs et capables de se

combiner irréversiblement avec les protéines et acides nucléiques cellulaires. De même, le formaldéhyde présente une forte réactivité qui lui permet de se combiner rapidement aux protéines et acides nucléiques cellulaires des tissus avec lesquels il est en contact ou de se transformer en acide formique (INERISd, 2005). Pour le toluène, 99 % de la dose absorbée est métabolisée sous forme d'acide benzoïque au niveau hépatique et différents métabolites sont ensuite formés. Parmi eux, certains présentent une action toxique tels que les crésols et d'autres métabolites comme le méthylhydroquinone et le méthylbenzoquinone, mineurs en terme de quantité mais susceptibles d'être à l'origine d'effets cancérogènes ou d'effets sur la reproduction (Murata *et al.*, 1999).

Elimination

Pour de nombreux COV, l'élimination se fait majoritairement sous forme de métabolites dans les urines. Ils peuvent également être éliminés sous forme inchangée dans l'air expiré et dans les urines. Ainsi, par exemple, le benzène est éliminé dans les urines sous forme de phénol et de très nombreux autres métabolites, mais aussi sous forme inchangée dans l'air expiré (10 à 50 %) et dans les urines (1 %), selon l'activité physique et l'importance du tissu adipeux. De même, 80 à 90 % du toluène sont éliminés sous forme de métabolites dans les urines, majoritairement sous forme d'acide hippurique, et environ 15 % par voie pulmonaire sous forme inchangée.

Par ailleurs, après une exposition aux COV, l'élimination est généralement rapide pour une grande partie des quantités inhalées. Ainsi, une étude portant sur les concentrations sanguines d'un mélange de COV, avant, pendant et après exposition, a montré que la demi-vie à l'intérieur de l'organisme est inférieure à une demi-heure pour les composés mesurés. Cependant, l'élimination totale des COV inhalés se fait sur le long terme, ce qui montre l'existence de multiples sites de stockage dans l'organisme et une bioaccumulation possible (Ashley & Prah, 1997).

Des effets aigus généralement transitoires

La toxicité aiguë résulte d'une exposition à une forte dose sur une courte période. Des études chez l'homme et chez l'animal permettent d'évaluer cette toxicité aiguë. Les études chez l'homme concernent principalement des cas d'intoxications volontaires ou accidentelles ou des études d'exposition contrôlée chez des volontaires sains ou plus sensibles (asthmatiques par exemple), exposés à différentes concentrations. Une exposition à des concentrations très élevées en COV dans

l'air (par exemple 20 000 ppm pendant 5 à 10 min pour le benzène) ou l'ingestion de grandes quantités de COV peuvent entraîner la mort, mais ces cas se révèlent très rares. Une exposition aiguë aux COV entraîne le plus souvent des irritations et des atteintes du système nerveux central, qui sont en général transitoires.

Irritations des voies respiratoires, des yeux et de la peau

Pour la plupart des COV, un des principaux effets d'une exposition aiguë est l'irritation des yeux, du nez, de la gorge ou de la peau. De nombreuses études se sont intéressées à ce pouvoir irritant des COV. Ainsi, une étude suggère que certains COV réactifs chimiquement peuvent entraîner une irritation oculaire (Wolkoff *et al.*, 2003). De plus, une relation dose-effet a été observée dans le cas d'irritations oculaires liées à des expositions contrôlées à des mélanges de COV (Hempel-Jorgensen *et al.*, 1999).

Parmi les COV très irritants, on trouve le formaldéhyde. En effet, celui-ci est très irritant pour les yeux, le nez et la gorge même à de très faibles concentrations. Une étude a observé une irritation légère des yeux à partir de 1 ppm et des voies respiratoires à partir de 2 ppm (Arts *et al.*, 2006). Plusieurs études d'exposition contrôlée par inhalation ont montré chez l'homme ce pouvoir irritant du formaldéhyde, avec des irritations oculaires, accompagnées ou non de larmoiements, des irritations du nez et de la gorge, une sécheresse buccale (Bender *et al.*, 1983 ; Day *et al.*, 1984 ; Yang *et al.*, 2001). Le formaldéhyde peut aussi entraîner une congestion nasale, des démangeaisons et des éternuements. Une étude plus récente a montré qu'une exposition répétée au formaldéhyde entraîne une augmentation de la fréquence des irritations des yeux, de la gorge, mais aussi de la peau (Takahashi *et al.*, 2007).

De même, le principal effet des vapeurs d'éthylbenzène est l'irritation des yeux, du nez et des muqueuses (Cometto-Muniz & Cain, 1995), et ceci à des concentrations d'environ 200 ppm. Des irritations de la gorge, du nez ainsi qu'une irritation oculaire moyenne ont également été rapportées dans le cas d'expositions à un mélange de xylènes. De plus, un contact direct de ce dernier avec la peau entraîne une irritation transitoire de la peau, un dessèchement et une desquamation de celle-ci.

De nombreux COV sont susceptibles d'être irritants, mais il peut s'agir aussi de composés formés à la suite de réactions impliquant les COV. Dans ce sens, des études récentes portant sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments de travail ont souligné que des réactions entre certains COV réactifs chimiquement, notamment des alcènes, et l'ozone ou d'autres molécules (radicaux hydroxyles, etc.), aboutissent à la formation de composés irritants. Parmi ces derniers, on trouve des composés oxygénés tels que le méthylglyoxal ou le glycoaldéhyde (Wolkoff *et al.*, 2006 ; Anderson *et al.*, 2007).

Atteintes du système nerveux central : fatigue, céphalées, vertiges,...

Pour de nombreux COV, une exposition aiguë peut aussi provoquer une dépression du système nerveux central, dont les symptômes sont des maux de tête, des nausées, des vomissements, des étourdissements, etc. Ces troubles sont généralement réversibles dans les quelques heures suivant l'arrêt de l'exposition. De nombreuses études ont permis d'évaluer cet effet neurologique. Ainsi, dans le cas d'intoxications légères au benzène, une excitation puis des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, de la fatigue ont été rapportés. L'inhalation de 50 à 100 ppm de benzène pendant 30 minutes entraîne fatigue et maux de tête, 250 à 500 ppm sont responsables de vertiges, céphalées, sensations de malaise et nausées. Par inhalation, des expositions au toluène, de l'ordre de 80 à 150 ppm, peuvent aussi induire des maux de tête, des vertiges, et une somnolence (Echeverria *et al.*, 1989). Aux faibles concentrations (inférieures ou égales à 40 ppm), la survenue de ces symptômes est moins fréquente (Andersen *et al.*, 1983). Dans ce sens, une étude sur près de 1500 volontaires n'a pas montré d'association entre une exposition aiguë à de faibles concentrations en toluène et une diminution des performances lors de tests des fonctions psycho-physiologique et psycho-motrice (Neubert *et al.*, 2001). Quant au xylène, des études ont montré qu'une exposition aiguë par voie pulmonaire entraîne une perte de mémoire, une détérioration du temps de réaction, une altération de l'équilibre (Carpenter *et al.*, 1975).

Autres effets aigus

Une exposition aiguë aux COV peut avoir de nombreux autres effets qui sont en général transitoires. Ainsi, l'exposition aiguë à des vapeurs de xylènes induit des troubles respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux et neurologiques. De même, des concentrations élevées en éthylbenzène peuvent entraîner des atteintes transitoires hépatiques et rénales.

De multiples effets chroniques

L'exposition à de faibles concentrations de COV sur une longue période peut affecter l'organisme, avec des effets variés sur diverses fonctions de l'organisme, mais aussi des effets cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction et le développement. Les effets chroniques des COV sont difficiles à mettre en évidence. En effet, le faible nombre de personnes exposées et le long temps de latence pour de nombreuses maladies, comme les cancers, entraînent des difficultés méthodologiques

pour l'étude de ces effets à long terme. Les données proviennent principalement d'études réalisées en milieu professionnel. Cependant, les personnes sont souvent exposées à des mélanges de COV et la composition et la concentration des COV inhalés ne sont en général pas connues précisément. Les résultats sont alors difficilement interprétables. De plus, il existe une multitude de COV et leurs effets potentiels sont multiples. Les données disponibles sont donc souvent limitées, notamment pour les effets mutagènes ou sur la reproduction et le développement.

Des effets sur la plupart des fonctions de l'organisme

Une exposition chronique aux COV peut affecter de nombreuses fonctions de l'organisme comme les fonctions respiratoire, cardiaque, hépatique, rénale, etc.

Effets neurologiques

Pour de nombreux COV, une exposition chronique peut entraîner des effets neurologiques. Pour évaluer ces effets, un certain nombre de tests, écrits ou oraux, peuvent être utilisés. Ils portent notamment sur l'attention, l'orientation, la mémoire, le langage, la fonction psycho-motrice, etc. (Bolla, 1991). Dans ce sens, des études réalisées auprès de personnes exposées professionnellement à des solvants organiques ont montré des associations entre exposition aux solvants et effets neurologiques (Escalona *et al.*, 1995 ; Tsai *et al.*, 1997 ; Lomax *et al.*, 2004). Un lien avec le nombre d'années d'exposition a également été observé (Escalona *et al.*, 1995).

De nombreuses études réalisées en milieu professionnel ont montré qu'une exposition chronique au toluène à des concentrations comprises entre 30 et 130 ppm induit entre autres des atteintes neurologiques (Neubert *et al.*, 2001 ; Eller *et al.*, 1999 ; Cavalleri *et al.*, 2000 ; Boey *et al.*, 1997 ; Abbate *et al.*, 1993). Les principales altérations rapportées sont une altération du comportement, des potentiels auditifs et visuels, de la vision des couleurs. Dans ce sens, une étude suggère un lien entre exposition au toluène et altérations de la vision des couleurs, avec une relation dose-effet (Cavalleri *et al.*, 2000). A des concentrations élevées, des effets neurologiques sévères comportant des dysfonctionnements cérébraux tels que des tremblements, des troubles de la mémoire ont été décrits. De même, plusieurs études se sont intéressées aux troubles neurologiques susceptibles d'être causés par une exposition au formaldéhyde. Une perte de la mémoire et un manque de concentration ont notamment été décrits. Mais la présence de ce COV était concomitante à d'autres solvants neurotoxiques, ce qui limite l'interprétation des résultats. Néanmoins, une étude a pu établir une corrélation entre l'exposition au formaldéhyde et la baisse de performance à une batterie de tests

alliant dextérité, mémoire et coordination (Kilburn *et al.*, 1985). Par ailleurs, des études ont également montré que l'exposition aux vapeurs de xylène était associée à des effets neurologiques : anxiété accrue, perte de mémoire, problèmes de concentration, vertiges (Roberts *et al.*, 1988 ; Kilburn *et al.*, 1985).

Une revue de la littérature récente suggère que l'exposition au styrène peut également altérer le système nerveux, même à de faibles concentrations (Kishi *et al.*, 2000). Dans ce sens, de nombreuses études se sont intéressées au lien entre l'exposition aux solvants, et plus particulièrement au styrène, et les troubles de la vision. Une méta-analyse indique que la grande majorité des études existantes suggèrent une diminution de la discrimination des couleurs pour les groupes exposés aux solvants. Cependant, il existe de grandes différences méthodologiques entre ces études, ce qui limite l'interprétation des résultats (Paramei *et al.*, 2004). Toutefois, pour le styrène, l'altération de la vision des couleurs semble relativement bien établie (Lomax *et al.*, 2004). L'étude de Gong *et al.* a montré qu'une exposition à de faibles concentrations en styrène, inférieures à 10 ppm, pouvait altérer la vision des couleurs (Gong *et al.*, 2002). Un seuil a été déterminé dans l'étude de Campagna *et al.* : une altération significative de la vision des couleurs a été détectée pour une exposition supérieure à 4 ppm (Campagna *et al.*, 1996).

Effets respiratoires

Une exposition chronique aux COV peut avoir des effets sur la fonction respiratoire. De fait, certains COV peuvent altérer la fonction pulmonaire, ce qui peut avoir des effets à long terme sur la santé respiratoire (Elliott *et al.*, 2006).

Une revue de la littérature publiée en 2004 indique que les études d'observation mettent généralement en évidence une relation entre exposition aux COV et asthme (Dales & Raizenne, 2004). Dans ce sens, une étude récente a mis en évidence, chez l'adulte, une association significative entre l'exposition aux COV et le fait d'avoir été diagnostiqué asthmatique ou d'avoir eu au moins une crise de sifflements dans les douze derniers mois (Arif & Shah, 2007).

Chez l'enfant, une étude a montré que l'incidence des symptômes respiratoires chroniques était associée positivement à l'exposition aux COV (Ware *et al.*, 1993). Cependant, une autre étude réalisée auprès d'enfants de 9 à 11 ans ne met en évidence aucune association entre l'exposition aux COV à l'intérieur du logement et le risque de sifflements persistants. Le formaldéhyde semble cependant augmenter la sévérité des symptômes observés dans cette étude (Venn *et al.*, 2003). Une autre étude portant sur des enfants de 6 mois à 3 ans a montré que l'exposition aux COV semble augmenter le risque d'asthme. Dans cette étude, la plupart des COV semblent être des facteurs de risque significatifs

d'asthme, plus particulièrement le benzène, l'éthylbenzène et le toluène. De plus, pour chaque augmentation de la concentration en toluène et benzène de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le risque d'asthme est multiplié respectivement par près de 2 et 3 (Rumchev *et al.*, 2004).

En ce qui concerne le formaldéhyde, l'éventualité de l'apparition de maladies respiratoires chroniques obstructives par expositions répétées, avec des retentissements sur la fonction respiratoire, a été suggérée mais reste controversée. L'exposition simultanée fréquente à d'autres composés entraîne des problèmes d'interprétation. Un article récent met en évidence qu'une exposition modérée au formaldéhyde à l'intérieur des logements peut provoquer une sensibilisation et aggraver les symptômes chez les patients atteints d'asthme allergique (Casset *et al.*, 2006). Ainsi, les patients asthmatiques et allergiques semblent particulièrement sensibles à l'exposition au formaldéhyde à des taux supérieurs ou égaux à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Le Calvé *et al.*, 2006).

Effets sanguins et sur le système immunitaire

Un des principaux COV ayant des effets sanguins et sur le système immunitaire est le benzène. En effet, de nombreuses études ont mis en évidence ces effets. Un des tout premiers signes de la toxicité chronique du benzène est l'atteinte de la moelle osseuse. De plus, la plupart des effets sanguins ont été associés à des expositions par inhalation : anémie aplasique, granulopénie, lymphopénie, leucémie, etc. Des effets sur le système immunitaire ont également été décrits dans le cadre d'expositions professionnelles au benzène : diminution des taux sériques d'IgA et d'IgG, augmentation de la susceptibilité aux allergies, diminution des leucocytes et d'autres éléments cellulaires sanguins. En revanche, pour le formaldéhyde, plusieurs travaux réalisés en milieu professionnel ont constaté l'absence d'effet sur le système immunitaire (Kramps *et al.*, 1989 ; Dykewicz *et al.*, 1991). Pour l'éthylbenzène, les résultats sont contradictoires. Une étude (Angerer & Wulf, 1985) a mis en évidence des effets hématologiques (une augmentation du nombre de lymphocytes et une diminution du taux d'hémoglobine) chez des salariés exposés à des alkylbenzènes (dont l'éthylbenzène), mais il est difficile de savoir si les effets sont dus au mélange ou à un composé en particulier. Une autre étude ne montre pas d'effet néfaste sur le système hématologique (Bardodej & Cirek, 1988).

Autres effets : hépatiques, rénaux, cardiovasculaires

Le foie et le rein peuvent être des cibles privilégiées pour de nombreuses substances toxiques du fait de leur rôle de transformation métabolique ou d'élimination de ces substances. Cependant, les effets sur ces organes sont peu documentés. Pour le toluène et le xylène, des atteintes hépatiques et rénales

ont été suggérées, mais ne sont pas clairement établies. Pour l'éthylbenzène, une étude ne montre pas d'effet néfaste sur le système hépatique (Bardodej & Cirek, 1988).

Une exposition chronique aux COV peut aussi avoir des effets sur la fonction cardiaque. Dans ce sens, des études ont montré que l'exposition aux vapeurs de xylène était associée à des effets cardiovasculaires (Kilburn *et al.*, 1985).

Des effets cancérigènes

D'une manière générale, des relations entre les émissions locales de COV et l'incidence de certains cancers, notamment du cerveau, du système nerveux, du système endocrinien et de la peau, ont été observées (Boeglin *et al.*, 2006). Une augmentation du risque de cancer du sein a également été observée chez des femmes militaires exposées à un ou plusieurs COV (Rennix *et al.*, 2005). Chez l'enfant, des associations entre l'exposition prénatale aux COV (déterminée à partir de l'adresse de naissance et de l'existence de sites industriels locaux utilisant des COV ou des procédés de combustion) et le risque de nombreux cancers, notamment de leucémies, ont été retrouvées (Knox, 2005).

Pour déterminer le pouvoir cancérigène spécifique de chaque COV, les données disponibles (études épidémiologiques, études expérimentales chez l'animal) sont très variables d'un COV à l'autre. Si les effets cancérigènes de certains composés sont largement étudiés et plus ou moins reconnus (benzène, formaldéhyde), pour d'autres les données sont insuffisantes voire inexistantes. Les substances sont classées en fonction de leur pouvoir cancérigène par différents organismes, notamment l'Union européenne et le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Pour chaque COV, cette classification dépend largement de l'existence d'un nombre suffisant d'études sur ses effets cancérigènes et de la concordance des résultats.

L'Union européenne utilise trois catégories :

- catégorie 1 pour les substances que l'on sait cancérigènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition et l'apparition d'un cancer ;
- catégorie 2 pour les substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition peut provoquer un cancer ;

- catégorie 3 pour les substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).

Le CIRC classe les substances en quatre groupes : groupe 1 pour les agents cancérigènes pour l'homme, groupe 2 pour les agents probablement (2A) ou peut-être (2B) cancérigènes pour l'homme, groupe 3 pour les agents inclassables quant à leur cancérogénicité et groupe 4 pour les agents qui sont probablement non cancérigènes. Le Tableau 18 présente la classification des principaux COV selon leurs effets cancérigènes.

Des substances cancérigènes reconnues

Le benzène est un agent cancérigène reconnu par l'Union européenne (catégorie 1) et par le CIRC (groupe 1). Plus de 25 études ont rapporté une augmentation des taux de cancer au cours des expositions professionnelles au benzène (Schnatter *et al.*, 1996 ; Yin *et al.*, 1996 ; Wong, 1987 ; Rinsky *et al.*, 1987 ; Paxton *et al.*, 1994). La leucémie myéloïde est l'affection la plus souvent rapportée dans les études de cas mais une association significative avec les leucémies de tout type, voire d'autres affections du tissu hématopoïétique comme les lymphomes non hodgkiniens est retrouvée dans les études épidémiologiques. Différentes techniques de modélisation ont été utilisées pour identifier une éventuelle valeur seuil mais les résultats sont contradictoires. Si un seuil devait être retenu, il correspondrait à une valeur d'exposition inférieure à 1 ppm pendant 40 ans (INERIS, 2006).

Le pouvoir cancérigène du formaldéhyde a également été étudié, mais les conclusions divergent suivant les organismes. En effet, cette substance est classée dans la catégorie 3 par l'Union européenne et dans le groupe 1 par le CIRC. Une demande de réévaluation est en cours au niveau de l'Union européenne. Les principaux cancers étudiés chez les sujets exposés au formaldéhyde par inhalation concernent les voies respiratoires supérieures et la cavité buccale, et plus marginalement le cerveau, les leucémies et la maladie de Hodgkin. Les études ont été réalisées auprès des professionnels utilisant le formaldéhyde (industrie, préservation des tissus biologiques). Parmi les données les plus récentes, deux méta-analyses (Partanen, 1993 ; Blair *et al.*, 1990) concluent que l'on peut attribuer un rôle causal hautement probable pour le cancer du nasopharynx et dans une moindre mesure pour celui des cavités nasales, en raison d'une relation dose-effet et de l'action directe du formaldéhyde sur ces sites. Mais une autre méta-analyse (Collins *et al.*, 1997) remet en cause ces conclusions en raison du faible nombre d'études mentionnant l'apparition de cancers du nasopharynx. Un rôle possible dans les cancers pulmonaires a été suggéré (Chiazze *et al.*, 1993 ; Bond *et al.*, 1986 ; Blair *et al.*, 1986). En revanche, aucun risque augmenté de mortalité par leucémies et cancers cérébraux n'a été mis en évidence parmi les travailleurs de l'industrie.

Tableau 18. Classification des principaux COV selon leurs effets cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction et le développement

COV	Cancérogènes		Toxiques pour la reproduction et le développement	Mutagènes
	UE *	CIRC **		
Benzène	1	1	Non classé	2
Formaldéhyde	3	1	Non classé	Non classé
Toluène	Non classé	3	3	Non classé
Xylènes	Non classé	3	Non classé	Non classé
Ethylbenzène	Non classé	2B	Non classé	Non classé
Trichloroéthylène	2	2A	Non classé	3
Tétrachloroéthylène	3	2A	Non classé	Non classé

* UE = Union Européenne

** CIRC = Centre International de Recherche sur le Cancer

Sources : fiches toxicologiques de l'INERIS et sites internet de l'UE et du CIRC

De nombreuses substances pour lesquelles les données sont limitées

Pour de nombreux COV, les données sont souvent insuffisantes pour évaluer leur pouvoir cancérigène. Pour le xylène, les données concernant l'effet cancérigène par voie pulmonaire chez l'homme proviennent d'études réalisées lors d'accidents du travail (Wilcosky *et al.*, 1984 ; Arp *et al.*, 1983). Mais le faible nombre d'individus exposés et le manque d'information concernant la concentration du xylène inhalé ne permettent pas de conclure définitivement sur son effet cancérigène. De même pour le toluène, peu d'études ont évalué sa carcinogénicité. Pour l'éthylbenzène, une étude concerne notamment des salariés exposés par voie pulmonaire pendant vingt ans (Bardodej & Cirek, 1988). Ceux-ci ne présentent pas d'excès de tumeurs malignes dans les dix dernières années, mais les concentrations en éthylbenzène ne sont pas connues et la durée du suivi s'avère insuffisante.

Des effets sur la reproduction et le développement

Des études portant sur l'exposition aux solvants ont montré un lien entre exposition et altérations de la reproduction ou du développement. En effet, des liens entre l'exposition aux solvants et les concentrations en hormones de la reproduction, notamment la FSH, ont été observés chez l'homme, ce qui indique un effet potentiel des solvants sur la fonction de reproduction (Luderer *et al.*, 2004). De plus, une méta-analyse sur l'exposition maternelle aux solvants organiques pendant la grossesse a montré une tendance à l'augmentation du risque d'avortements spontanés, ainsi qu'une association significative avec l'apparition de malformations congénitales (McMartin *et al.*, 1998). Une autre revue de la littérature semble confirmer ces résultats, tout en soulignant les difficultés de l'évaluation de l'exposition (Saillenfait & Robert, 2000). Une augmentation du délai nécessaire pour concevoir a également été observée chez des femmes utilisant des solvants organiques (Wennborg *et al.*, 2001). Par ailleurs, une méta-analyse sur l'exposition paternelle aux solvants organiques a montré une augmentation significative du risque de malformations congénitales (notamment au niveau du tube neural), mais aucune association avec le risque d'avortements spontanés (Logman *et al.*, 2005). Chez des peintres, une relation dose-effet entre exposition paternelle aux solvants et altérations du développement a été suggérée, mais celle-ci n'est pas clairement établie (Hooiveld *et al.*, 2006).

En revanche, pour une substance déterminée, les données concernant les effets sur la reproduction et le développement sont en général peu nombreuses et ne permettent pas de conclure sur un éventuel effet de cette substance. Le potentiel toxique pour la reproduction et le développement des substances chimiques est classé, comme pour le pouvoir cancérigène, en trois catégories par l'Union européenne (cf Annexe 8). Le Tableau 18 présente la classification des principaux COV selon leurs effets sur la reproduction et le développement.

Des substances préoccupantes

Le toluène est un COV préoccupant en raison de ses effets possibles sur la fertilité et sur le développement, il est classé dans la catégorie 3 par l'Union européenne. Deux études montrent une action possible du toluène sur les mécanismes de la régulation endocrine lors d'expositions professionnelles (influence sur les niveaux des hormones de LH, FSH et de testostérone) (Svensson *et al.*, 1992a ; Svensson *et al.*, 1992b). Il semblerait que des expositions quotidiennes à de faibles niveaux de toluène puissent induire une diminution de la fertilité chez la femme (Plenge-Bonig & Karmaus, 1999). Toutefois, il n'est pas exclu que d'autres facteurs d'exposition tels que le bruit ou le stress puissent également être impliqués. De plus, il a été montré une augmentation du risque d'avortement spontané chez des salariées exposées au toluène au cours des premiers mois de leur grossesse, pour des niveaux d'exposition de l'ordre de 50 à 150 ppm (Ng *et al.*, 1992 ; Taskinen *et al.*, 1994). Les données mettent également en évidence un retard du développement qui se manifeste par une diminution du poids de naissance, un retard du développement post-natal et une neurotoxicité.

Par ailleurs, certains éthers de glycol font partie des substances les plus préoccupantes en raison d'effets possibles sur la reproduction et le développement et sont classés dans la catégorie 2 par l'Union européenne. Une expertise collective sur les éthers de glycol a été conduite par l'INSERM en 1999 et réactualisée en 2006 (INSERM, 1999 ; INSERM, 2006). D'après ces expertises, un ensemble de résultats concordants est en faveur de l'existence d'un lien entre infertilité masculine et exposition professionnelle à certains éthers de glycol, notamment à l'EGEE²⁰, l'EGME²¹ et leurs acétates. Cependant, il est souvent difficile d'attribuer ces effets aux seuls éthers de glycol en raison d'exposition simultanée à d'autres substances chimiques. Il existe moins d'évidences concernant les effets des éthers de glycol sur la fertilité féminine. Toutefois, des anomalies de la durée et de la régularité des cycles menstruels ainsi qu'une diminution de la fertilité ont été rapportées chez les femmes travaillant dans les secteurs les plus exposés aux éthers de glycols. Un lien entre exposition maternelle à des éthers de glycol et un risque accru de malformations congénitales a également été suggéré.

De nombreuses substances pour lesquelles les données sont limitées

Pour de nombreux COV, les données sont plus limitées, en raison notamment du faible nombre de personnes exposées et d'une exposition fréquente à des mélanges de composés chimiques. Elles ne permettent donc pas de conclure sur un éventuel effet sur la fertilité ou le développement.

²⁰ Ethylène Glycol Ethyl Ether

²¹ Ethylène Glycol Méthyl Ether

Dans ce sens, les effets observés par inhalation du benzène sur la reproduction et le développement ne sont pas suffisants pour établir une relation causale. Il a été constaté que le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère exposée par inhalation. Une augmentation de la fréquence des avortements spontanés a également été constatée chez des femmes exposées professionnellement au benzène durant le premier trimestre.

De même, pour le formaldéhyde, des effets sur la reproduction (cycles menstruels, grossesses difficiles) ont été observés chez des femmes professionnellement exposées. Une augmentation du risque d'avortements spontanés, ainsi qu'une diminution de la fertilité (augmentation du délai nécessaire pour concevoir) ont notamment été observées (Taskinen *et al.*, 1999). Pour le xylène, il a été constaté une augmentation du taux d'avortements spontanés chez des femmes exposées aux vapeurs de xylène (Taskinen *et al.*, 1994). Certaines études chez l'homme suggèrent également une relation possible entre l'exposition par voie pulmonaire au xylène et un défaut au niveau du développement, mais ces résultats restent discutables. Pour l'éthylbenzène, aucune étude n'est disponible chez l'homme.

Des effets mutagènes

Une substance mutagène est un agent qui augmente l'apparition de modifications permanentes du nombre ou de la structure du matériel génétique dans un organisme. De même que pour le pouvoir cancérogène, le pouvoir mutagène des substances chimiques est classé en trois catégories par l'Union européenne (cf Annexe 8). Le Tableau 18 présente la classification des principaux COV selon leurs effets mutagènes. Quelques COV sont considérés comme assimilables à des substances mutagènes ou préoccupantes en raison d'effets mutagènes possibles. Mais très souvent les études disponibles sont des études expérimentales *in vitro* ou *in vivo* chez l'animal et les études chez l'homme sont insuffisantes pour conclure sur cet effet mutagène.

Par exemple, le benzène est classé en catégorie 2 par l'Union européenne, c'est-à-dire substance devant être assimilée à une substance mutagène pour l'homme. Chez l'animal, le benzène est génotoxique et il induit des aberrations chromosomiques *in vivo*. Les effets ont été établis sur les cellules somatiques et germinales. De plus, lors d'expositions professionnelles importantes, des aberrations chromosomiques ont été observées et ces anomalies peuvent persister plusieurs années après l'exposition. Cependant, les études conduites chez des sujets plus modérément exposés sont le plus souvent négatives et les résultats sont difficilement interprétables (expositions à d'autres substances potentiellement mutagènes, faiblesse des effectifs).

De même, le trichloroéthylène est mutagène in vitro, mais cette caractéristique ne s'exprime pas in vivo chez l'animal. Quelques études se sont intéressées à l'activité possiblement génotoxique de ce COV chez l'homme mais les résultats ne sont pas concluants.

Pour le formaldéhyde, les résultats des nombreuses études réalisées chez des travailleurs exposés sont discordants. On sait que la substance induit des liaisons ADN-protéines. De plus, les recherches d'aberrations chromosomiques sont parfois positives sur des cellules nasales, buccales ou sur des lymphocytes. Mais ces effets sont largement variables en fonction des expositions simultanées à d'autres substances.

Une évaluation des risques sanitaires difficile à mettre en oeuvre

La démarche générale pour l'évaluation des risques sanitaires liés aux COV

Les COV ont donc de multiples effets sur la santé, que ce soit des effets aigus ou chroniques. De plus, la population est susceptible d'être exposée à des COV dans de nombreuses situations (cf. chapitre « Exposition de la population francilienne » p 49). Il est donc nécessaire d'avoir un meilleur éclairage sur les risques sanitaires liés aux COV pour la population. Puisque les COV regroupent un ensemble de substances très hétérogènes, ce risque sanitaire ne peut être évalué de manière globale et doit donc être évalué individuellement pour chaque COV. La démarche consiste, tout d'abord, à identifier les effets du COV sur la santé humaine et à caractériser le lien entre exposition et effet sanitaire. A partir de l'exposition de la population à ce COV, le risque sanitaire peut ensuite être évalué. Cette démarche est difficile à mettre en oeuvre dans le cas des COV du fait de la multitude de composés répondant à cette définition. Dans le cadre de ce rapport, il ne s'agit pas d'effectuer une évaluation des risques en tant que telle, ni d'établir une liste exhaustive des COV présentant le plus de risques pour la santé humaine. L'objectif est, ici, de présenter la démarche générale pour l'évaluation des risques liés aux COV et quelques travaux français qui se sont intéressés à cette problématique.

Identifier les effets sanitaires

La première étape d'identification des effets sanitaires de chaque COV a déjà été évoquée au début de cette partie sur les effets sur la santé.

Caractériser le lien entre exposition et effet sanitaire

Pour caractériser le lien entre l'exposition de l'homme à une substance et l'occurrence ou la sévérité d'un effet nocif observé, on utilise les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). Celles-ci sont établies par des instances nationales ou internationales, à partir d'études épidémiologiques ou à défaut d'expérimentations animales. Les principaux organismes qui établissent des VTR sont l'OMS, l'agence américaine de protection de l'environnement (US Environmental Protection Agency ou US EPA) et l'agence américaine pour les substances toxiques (Agency for Toxic Substances and Disease Registry ou ATSDR). Les effets cancérigènes sont distingués des autres effets car il s'agit généralement d'effets sans seuil, c'est-à-dire que la probabilité de survenue de l'effet est proportionnelle à la dose d'exposition. En revanche, les effets non cancérigènes correspondent le plus souvent à des effets à seuil, pour lesquels il existe une dose sans effet (Host *et al.*, 2006).

Pour les effets non cancérigènes, les VTR sont généralement établies à partir de NOAEL (No Observed Adverse Effect Level ou dose sans effet adverse observé). Les NOAEL correspondent au plus fort niveau d'exposition n'ayant pas provoqué d'effet observable. Un facteur de sécurité est ensuite appliqué à cette dose pour tenir compte d'incertitudes liées à la variabilité intra- et inter-espèces ou, le cas échéant, à l'inadéquation des données (voie d'exposition, durée d'étude) ou à des insuffisances méthodologiques. Ainsi sont établies des doses de référence. Dans le cas des expositions par voie respiratoire, il s'agit de la concentration atmosphérique admissible, c'est-à-dire de la concentration maximale théorique d'agent toxique à laquelle un individu peut être exposé sans que cela provoque d'effet nuisible sur sa santé.

Pour les effets cancérigènes, les VTR sont issues de l'extrapolation des données expérimentales et épidémiologiques. A partir de ces VTR, sont déterminés des excès de risques unitaires (ERU). Il représente la probabilité supplémentaire pour un individu de développer cet effet par rapport à un sujet non exposé, l'exposition étant considérée sur la vie entière. Par exemple, si l'ERU est de 6.10^{-6} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), cela signifie qu'une personne exposée durant sa vie entière à une concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a une probabilité de 6 sur 1 million de développer un cancer lié à cette exposition (Host *et al.*, 2006).

Cependant, pour de nombreux COV, les données sont insuffisantes pour pouvoir établir des VTR. Les Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21 présentent les VTR des principaux COV, pour les effets aigus, chroniques cancérigènes et non cancérigènes.

Evaluer l'exposition de la population

L'étape suivante correspond à l'évaluation de l'exposition de la population. Cette démarche, ainsi que la caractérisation de l'exposition aux COV, ont largement été présentées dans le chapitre « Exposition de la population francilienne », p 49.

Tableau 19. VTR pour une exposition aiguë par inhalation de l'ATSDR pour les principaux COV

COV	VTR (ppm)	Effet	Facteur d'incertitude *	Année
Benzène	0,009	Immunologique (A)	300	2005
Ethylbenzène	-	-	-	-
Toluène	1	Neurologique (H)	10	2000
Xylènes	2	Neurologique (H)	30	2005
Styrène	-	-	-	-
Trichloroéthylène	2	Neurologique (H)	30	1997
Tétrachloroéthylène	0,2	Neurologique (H)	10	1997
Formaldéhyde	0,04	Respiratoire (H)	9	1999

Tableau 20. VTR pour les effets cancérogènes par inhalation de l'US EPA et de l'OMS pour les principaux COV

COV	US EPA			OMS		
	Risque unitaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Site	Année	Risque unitaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Site	Année
Benzène	$(2,2 - 7,8).10^{-6}$	Sang (H)	2000	$(4,4 - 7,5).10^{-6}$	Sang (H)	1999
Ethylbenzène	Non évalué	-	-	-	-	-
Toluène	Non évalué	-	-	-	-	-
Xylènes	Non évalué	-	-	-	-	-
Styrène	Pas de données	-	-	-	-	-
Trichloroéthylène	Non évalué	-	-	$4,3.10^{-7}$	Testicules (A)	1999
Tétrachloroéthylène	Pas de données	-	-	-	-	-
Formaldéhyde	$1,3.10^{-5}$	Nez (A)	1991	-	-	-

Tableau 21. VTR pour les effets chroniques non cancérogènes par inhalation de l'US EPA et de l'OMS pour les principaux COV

COV	US EPA				OMS			
	VTR (mg/m^3)	Effet	Facteur d'incertitude*	Année	VTR (mg/m^3)	Effet	Facteur d'incertitude*	Année
Benzène	0,03	Diminution des lymphocytes (H)	300	2003	-	-	-	-
Ethylbenzène	1	Développement (A)	300	1991	2150	Augmentation du poids des organes	100	1996
Toluène	5	Neurologique (H)	10	2005	332	Neurologique (H)	1260	1999
Xylènes	0,1	Coordination motrice (A)	300	2003	304	Neurologique (H)	60	1997
Styrène	1	Neurologique (H)	30	1993	107	Neurologique (H)	40	1999
Trichloroéthylène	Pas de données	-	-	-	-	-	-	-
Tétrachloroéthylène	Pas de données	-	-	-	102	Rénal (H)	400	1999
Formaldéhyde	Pas de données	-	-	-	0,1	Irritation nez, gorge (H)	-	1999

A = d'après des études sur l'animal, H = d'après des études sur l'homme

* Facteur qui a été appliqué lors du calcul de la VTR pour tenir compte des incertitudes

Sources : ATSDR, US EPA et OMS, 2007

Evaluer les risques sanitaires pour la population

L'étape finale consiste à évaluer les risques sanitaires pour la population. Elle fait la synthèse des étapes précédentes et exprime le risque attendu en fonction des expositions. Pour les effets avec seuil, un ratio de danger est calculé, il s'agit du rapport entre la concentration à laquelle l'individu est exposé et la concentration atmosphérique admissible. Pour les effets sans seuil, un excès de risque individuel est calculé, il résulte du produit de la concentration à laquelle l'individu est exposé par l'excès de risque unitaire attribuable à la substance (Host *et al.*, 2006).

Un important travail de hiérarchisation est préalablement nécessaire

Compte tenu de la multitude de COV susceptibles d'entraîner un risque sanitaire, il n'est pas envisageable d'évaluer les risques pour tous les COV existants. Il est donc nécessaire d'identifier les COV qui pourraient être considérés comme prioritaires en terme de risques pour la santé humaine. Pour déterminer ces priorités, la démarche consiste à identifier les COV qui ont des dangers documentés, principalement des dangers par inhalation, et qui disposent de valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour l'inhalation aiguë et/ou chronique. Ensuite, il faut prendre en compte l'exposition des individus, c'est-à-dire les concentrations en COV dans l'air des différents milieux fréquentés. Il faut donc raisonner pour chaque type de milieu et identifier les COV dont les concentrations sont les plus importantes dans ces milieux. Il existe, de plus, une contrainte technique : il faut que les COV soient mesurables par les techniques de mesure disponibles.

Certains travaux français se sont intéressés à cette problématique d'évaluation des risques, notamment dans le cadre de l'air intérieur et des parkings couverts. Ces travaux ont permis de définir des méthodes afin d'établir des listes de COV prioritaires dans le cadre de ces milieux spécifiques.

Priorités pour l'air intérieur

En vue de ses campagnes de mesures dans les bâtiments, notamment dans les logements, l'OQAI a mené un travail de hiérarchisation des paramètres à mesurer (OQAI, 2002). Cette hiérarchisation a été essentiellement axée sur des enjeux de santé publique. L'objectif était de classer les polluants intérieurs en fonction de leur priorité en terme de risques sanitaires.

Tout d'abord, les polluants les plus pertinents pour l'étude de l'air intérieur ont été sélectionnés par des experts. Parmi ces polluants figurent un certain nombre de COV, dont le benzène, l'éthylbenzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, etc. La liste complète des COV pris en compte dans ce travail de hiérarchisation se trouve dans le Tableau 22.

Tableau 22. COV pris en compte pour le travail de hiérarchisation de l'OQAI

Famille	COV
Hydrocarbures aromatiques	benzène
	éthylbenzène
	styrène
	toluène
	xylènes (o/m/p)
	1,2,4-triméthylbenzène
Hydrocarbures aliphatiques	n-décane
	n-undécane
Hydrocarbures halogénés	tétrachloroéthylène
	trichloroéthylène
	1,1,1-trichloroéthane
	1,4-dichlorobenzène
Terpènes	alpha-pinène
	limonène
Alcool	2-éthyl-1-hexanol
Ethers de glycols	1-méthoxy-2-propanol (PGME)
	2-butoxyéthanol (EGBE)
	2-éthoxyéthanol (EGEE)
	2-méthoxyéthanol (EGME)
	2-méthoxyéthylacétate (EGMEA)
Esters	butylacétate
	2-éthoxyéthylacétate
Aldéhydes	acétaldéhyde
	benzaldéhyde
	formaldéhyde
	hexaldéhyde
	isobutyraldéhyde
	isovaléraldéhyde
	valéraldéhyde

Source : OQAI, 2002

Tableau 23. Substances potentiellement d'intérêt dans les parcs de stationnement couverts

Famille	COV
Hydrocarbures aromatiques	benzène
	éthylbenzène
	toluène
	xylènes (o/m/p)
Hydrocarbures	1,3-butadiène
Aldéhydes	acétaldéhyde
	formaldéhyde
	acroléine

Source : Afsset, 2007

Une méthode permettant de hiérarchiser les polluants en fonction de leurs effets sanitaires potentiels a ensuite été définie et un indice de hiérarchisation calculé. Cet indice tient compte des risques sanitaires potentiels liés à une exposition aiguë, ainsi que ceux liés à une exposition chronique. De plus, pour tenir compte de la spécificité de la problématique de l'air intérieur, un indice de fréquence intérieure témoignant de la fréquence à laquelle les substances sont retrouvées dans l'air intérieur a également été pris en compte. Ainsi, plus l'impact sanitaire potentiel d'une substance est grand et plus elle est fréquemment retrouvée dans l'air intérieur, plus l'indice qui lui est attribué est élevé. Cet indice a donc permis de hiérarchiser les substances entre elles. Ainsi, en fonction de la valeur de l'indice de hiérarchisation, quatre classes de priorité ont été définies : les substances hautement prioritaires, très prioritaires, prioritaires et non prioritaires. Selon cette méthode, le formaldéhyde, le benzène et l'acétaldéhyde ont été classés parmi les substances hautement prioritaires, puis le toluène, le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène ont été classés parmi les substances très prioritaires.

Au niveau international, des travaux de hiérarchisation des polluants intérieurs ont également été menés. L'US EPA a notamment procédé à un classement des substances chimiques retrouvées dans les milieux intérieurs. La méthode mise en œuvre présente de nombreuses similitudes avec la démarche retenue par l'OQAI. Mais les niveaux d'exposition rencontrés dans les milieux intérieurs sont spécifiques des pays considérés et les conclusions des différents organismes étrangers ne peuvent être extrapolées directement à la situation française.

Priorités pour les parking couverts

Dans le cadre de la saisine de l'Afsset sur des valeurs limites de concentration en polluants à respecter dans l'air des parcs de stationnement couverts (Afsset, 2007), la première étape a été d'identifier les polluants susceptibles d'être émis par le trafic automobile : 275 polluants ont été identifiés, dont plus de 170 COV (y compris les aldéhydes). Une méthode a ensuite été définie pour identifier les substances prioritaires en terme de risque sanitaire. Parmi les polluants émis, les substances considérées comme prioritaires dans le cadre des parcs de stationnement couverts étaient celles qui sont stables chimiquement dans les ambiances intérieures, qui ont des dangers documentés par inhalation, disposant de valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour l'inhalation aiguë et/ou chronique et pour lesquelles les concentrations mesurées dans des parkings couverts ne sont pas négligeables au regard des VTR recensées. Cette démarche a permis d'établir une liste de 38 substances potentiellement d'intérêt dans les parcs de stationnement couverts, dont 8 COV qui sont présentés dans le Tableau 23. Ces polluants ont ensuite été hiérarchisés en calculant un score combinant les concentrations mesurées dans des parcs de stationnement couverts et les VTR aiguë et

chronique. Parmi les polluants les plus préoccupants, on retrouve le benzène, les xylènes, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, l'acroléine et le 1,3-butadiène.

Pour conclure, la démarche d'évaluation des risques sanitaires est particulièrement difficile à mettre en œuvre dans le cas des COV. En effet, dans le cadre de cette évaluation des risques, il n'est pas possible de considérer les COV dans leur ensemble étant donné le grand nombre de substances et leur hétérogénéité. Un travail important de hiérarchisation est préalablement nécessaire. Il faut raisonner pour chaque milieu fréquenté par les individus (extérieur, logement, lieux de travail, lieux publics, etc.) et identifier, dans ces milieux, les COV présentant le plus de risques pour la santé humaine parmi l'ensemble des COV susceptibles d'être rencontrés.

Conclusion

En conclusion, les COV regroupent une multitude de substances appartenant à des familles chimiques diverses et ayant des propriétés variées. Parmi ces propriétés, une des plus importantes est qu'ils sont, pour la plupart, des précurseurs d'ozone, ils participent ainsi à la pollution photo-oxydante. De plus, certains COV contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone dans la haute atmosphère et certains sont des gaz à effet de serre.

Si les COV peuvent être émis naturellement par la végétation, les sources liées aux activités humaines contribuent de manière largement prépondérante aux émissions de COV en Ile-de-France. Les principales sources d'émissions franciliennes sont les transports, les industries, mais aussi les secteurs résidentiel et tertiaire. Du fait de leur volatilité, les COV sont majoritairement présents dans l'air et l'inhalation est la principale voie d'exposition pour la population générale. Les concentrations de certains COV indicateurs dans l'air francilien sont surveillées par Airparif. Les mesures montrent qu'en situation de fond, les concentrations ont tendance à diminuer pour les COV mesurés. Toutefois, seul le benzène est réglementé à ce jour et les COV mesurés sont aujourd'hui peu nombreux. Par ailleurs, la population est susceptible d'être exposée à des concentrations en COV plus élevées qu'en situation de fond, lorsqu'elle se trouve à proximité des sources d'émissions. Du fait de la multiplicité des sources, ces expositions de proximité ont lieu dans des contextes très divers : à proximité du trafic routier, des aéroports, des stations-service, des industries ou encore à l'intérieur des bâtiments. Pour la population générale, il s'agit souvent d'expositions épisodiques, de courtes durées, et à certains COV spécifiques. Ces expositions concernent donc plus particulièrement les professionnels ayant une activité régulière à proximité de ces sources d'émissions, tels que les mécaniciens, les agents travaillant dans les parkings confinés, etc.

Les effets des COV sur la santé humaine peuvent être multiples et sont encore peu documentés pour la plupart. Une exposition de courte durée à des concentrations élevées a généralement des effets transitoires, tels que des irritations des voies respiratoires, des yeux et de la peau, ainsi que des effets sur le système nerveux central (maux de tête, fatigue, nausée, etc.). Une exposition chronique aux COV peut affecter la plupart des fonctions de l'organisme, notamment le système respiratoire, immunitaire, nerveux, etc. Certains COV sont également reconnus comme cancérigènes ou ayant des effets mutagènes ou encore nocifs pour la reproduction et pour le développement.

Compte tenu de la multitude des sources d'émissions de COV et de leurs effets sanitaires potentiellement importants, un meilleur éclairage sur les risques sanitaires est nécessaire. Cependant, la démarche d'évaluation des risques sanitaires est particulièrement difficile à mettre en œuvre dans le cas des COV. Il faut raisonner pour chaque milieu fréquenté par les individus (extérieur, logement, lieux de travail, lieux publics, etc.) et identifier, dans ces milieux, les COV présentant le plus de risques pour la santé humaine. La démarche consiste alors à prendre en compte à la fois la toxicité de

ces COV et leurs concentrations dans les différents milieux. Dans le cadre de cette évaluation des risques, il n'est pas possible de considérer les COV dans leur ensemble étant donné le grand nombre de substances et leur hétérogénéité. Ainsi, un travail important de hiérarchisation est préalablement nécessaire.

Références

ARENE Ile-de-France et ADEME. Tableau de bord de l'énergie en Ile-de-France - Evolution 1990-2002 des consommations et productions d'énergie et des émissions de CO2 associées. 2006, 24 p.

Abbate, C., Giorgianni, C., Munao, F. & Brecciaroli, R. Neurotoxicity induced by exposure to toluene. An electrophysiologic study. *Int Arch Occup Environ Health*. 1993, n°6, pp.389-92.

Afsset. Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils dans l'air intérieur - Risques sanitaires liés aux émissions de composés organiques volatils par les produits de construction et d'aménagement intérieur. 2006, 160 p.

Afsset. Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts. 2007, 108 p.

Airparif. Etude de la qualité de l'air sur l'ensemble du secteur limitrophe des plates-formes aéroportuaires de Roissy-Charles de Gaulle et du Bourget. 2003, 69 p.

Airparif. Surveillance des Composés Organiques Volatils à proximité du centre de production de PSA Peugeot Citroën à Poissy (78). 2004, 48 p.

Airparif. Surveillance des Composés Organiques Volatils à proximité du centre de production de Renault Flins (78). 2004, 49 p.

Airparif. Etude de la qualité de l'air sur l'ensemble du secteur limitrophe de la plate-forme aéroportuaire d'Orly. 2004, 65 p.

Airparif. Evaluation de la qualité de l'air en situation de proximité du trafic routier en Ile-de-France - Concentrations moyennes pour l'année 2004. 2005, 62 p.

Airparif. Rapport d'activité. 2005, 78 p.

Airparif. L'inventaire des émissions : d'où vient la pollution ? *Airparif Actualité*. 2005, n°27, pp.1-12.

Airparif. Campagnes de mesure de la qualité de l'air en sites trafic parisiens à forte fréquentation piétonne. 2006, 12 p.

Airparif. Surveillance des Composés Organiques Volatils à proximité du centre de production de PSA Peugeot Citroën à Aulnay-sous-Bois (93). 2006, 46 p.

Airparif. Les gaz à effet de serre en Ile-de-France : par qui sont-ils émis ? *Airparif Actualité*. 2006, n°28, pp.1-8.

Airparif. La qualité de l'air en Ile-de-France en 2006. 2007, 86 p.

Andersen, I., Lundqvist, G. R., Molhave, L., Pedersen, O. F., Proctor, D. F., Vaeth, M. & Wyon, D.P. Human response to controlled levels of toluene in six-hour exposures. *Scand J Work Environ Health*. 1983, n°5, pp.405-18.

Anderson, S., Wells, J., Fedorowicz, A., Butterworth, L., Meade, B. & Munson, A. Evaluation of the Contact and Respiratory Sensitization Potential of Volatile Organic Compounds Generated by Simulated Indoor Air Chemistry. *Toxicol Sci*. 2007, n°97(2), pp.355-63.

Angerer, J. & Wulf, H. Occupational chronic exposure to organic solvents. XI. Alkylbenzene exposure of varnish workers: effects on hematopoietic system. *Int Arch Occup Environ Health*. 1985, n°4, pp.307-21.

Arif, A. & Shah, S. Association between personal exposure to volatile organic compounds and asthma among US adult population. *Int Arch Occup Environ Health*. 2007, n°80(8), pp.711-9.

Arp, E. W. J., Wolf, P. H. & Checkoway, H. Lymphocytic leukemia and exposures to benzene and other solvents in the rubber industry. *J Occup Med*. 1983, n°8, pp.598-602.

Arts, J. H. E., Rennen, M. A. J. & de Heer, C. Inhaled formaldehyde: evaluation of sensory irritation in relation to carcinogenicity. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2006, n°2, pp.144-60.

Ashley, D. L. & Prah, J.D. Time dependence of blood concentrations during and after exposure to a mixture of volatile organic compounds. *Arch Environ Health*. 1997, n°1, pp.26-33.

Bardodej, Z. & Cirek, A. Long-term study on workers occupationally exposed to ethylbenzene. *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol*. 1988, n°1, pp.1-5.

Bender, J. R., Mullin, L. S., Graepel, G. J. & Wilson, W.E. Eye irritation response of humans to formaldehyde. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1983, n°6, pp.463-5.

Blair, A., Saracci, R., Stewart, P. A., Hayes, R. B. & Shy, C. Epidemiologic evidence on the relationship between formaldehyde exposure and cancer. *Scand J Work Environ Health*. 1990, n°6, pp.381-93.

- Blair, A., Stewart, P., O'Berg, M., Gaffey, W., Walrath, J., Ward, J., Bales, R., Kaplan, S. & Cubit, D. Mortality among industrial workers exposed to formaldehyde. *J Natl Cancer Inst.* 1986, n°6, pp.1071-84.
- Boeglin, M. L., Wessels, D. & Henshel, D. An investigation of the relationship between air emissions of volatile organic compounds and the incidence of cancer in Indiana counties. *Environ Res.* 2006, n°2, pp.242-54.
- Boey, K. W., Foo, S. C. & Jeyaratnam, J. Effects of occupational exposure to toluene: a neuropsychological study on workers in Singapore. *Ann Acad Med Singapore.* 1997, n°2, pp.184-7.
- Bolla, K. I. Neuropsychological assessment for detecting adverse effects of volatile organic compounds on the central nervous system. *Environ Health Perspect.* 1991, n°95, pp.93-8.
- Bond, G. G., Flores, G. H., Shellenberger, R. J., Cartmill, J. B., Fishbeck, W. A. & Cook, R.R. Nested case-control study of lung cancer among chemical workers. *Am J Epidemiol.* 1986, n°1, pp.53-66.
- CITEPA. Inventaire départementalisé des émissions de polluants atmosphériques en France en 2000. Mise à jour de Février 2005, 358 p.
- CITEPAa. Emissions dans l'air en France métropolitaine - acidification, eutrophisation, pollution photochimique. 2006, 18 p.
- CITEPAb. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - Séries sectorielles et analyses étendues. 2006, 247 p.
- CITEPAc. Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. 2006, 866 p.
- CSHPF. Avis relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions de composés organiques volatils par les produits de construction. Mars 2002, 4 p.
- Campagna, D., Gobba, F., Mergler, D., Moreau, T., Galassi, C., Cavalleri, A. & Huel, G. Color vision loss among styrene-exposed workers neurotoxicological threshold assessment. *Neurotoxicology.* 1996, n°2, pp.367-73.
- Carlsson, A. Exposure to toluene: uptake, distribution and elimination in man. *Scand J Work Environ Health.* 1982, n°1, pp.43-55.

Carpenter, C. P., Kinkead, E. R., Geary, D. L. J., Sullivan, L. J. & King, J.M. Petroleum hydrocarbon toxicity studies. V. Animal and human response to vapors of mixed xylenes. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1975, n°3, pp.543-58.

Casset, A., Purohit, A., Marchand, C., Le Calvé, S., Donnay, C., Uring-Lambert, B., Bahram, S., Pauli, G. & de Blay, F. [The bronchial response to inhaled formaldehyde]. *Rev Mal Respir.* 2006, n°1 Suppl, pp.3S25-34.

Cavalleri, A., Gobba, F., Nicali, E. & Fiocchi, V. Dose-related color vision impairment in toluene-exposed workers. *Arch Environ Health.* 2000, n°6, pp.399-404.

Chiazze, L. J., Watkins, D. K., Fryar, C. & Kozono, J. A case-control study of malignant and non-malignant respiratory disease among employees of a fiberglass manufacturing facility. II. Exposure assessment. *Br J Ind Med.* 1993, n°8, pp.717-25.

Collins, J. J., Acquavella, J. F. & Esmen, N.A. An updated meta-analysis of formaldehyde exposure and upper respiratory tract cancers. *J Occup Environ Med.* 1997, n°7, pp.639-51.

Cometto-Muniz, J. E. & Cain, W.S. Relative sensitivity of the ocular trigeminal, nasal trigeminal and olfactory systems to airborne chemicals. *Chem Senses.* 1995, n°2, pp.191-8.

Coursimault, A., Delaunay, C., Goupil, G., Laurent, A., Le Moullec, Y. & Person, A. Evaluation de l'exposition des citadins aux polluants d'origine automobile au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne. En ligne : http://www.prefecture-police-paris.interieur.gouv.fr/documentation/etudes_scientifiques/exposition_polluants.htm. 1998.

DRIRE Ile-de-France. L'environnement industriel en Ile-de-France. 2006, 95 p.

Dales, R. & Raizenne, M. Residential exposure to volatile organic compounds and asthma. *J Asthma.* 2004, n°3, pp.259-70.

Day, J. H., Lees, R. E., Clark, R. H. & Pattee, P.L. Respiratory response to formaldehyde and off-gas of urea formaldehyde foam insulation. *Can Med Assoc J.* 1984, n°9, pp.1061-5.

Dykewicz, M. S., Patterson, R., Cugell, D. W., Harris, K. E. & Wu, A.F. Serum IgE and IgG to formaldehyde-human serum albumin: lack of relation to gaseous formaldehyde exposure and symptoms. *J Allergy Clin Immunol.* 1991, n°1 Pt 1, pp.48-57.

Echeverria, D., Fine, L., Langolf, G., Schork, A. & Sampaio, C. Acute neurobehavioural effects of toluene. *Br J Ind Med.* 1989, n°7, pp.483-95.

Eller, N., Netterstrom, B. & Laursen, P. Risk of chronic effects on the central nervous system at low toluene exposure. *Occup Med (Lond).* 1999, n°6, pp.389-95.

- Elliott, L., Longnecker, M. P., Kissling, G. E. & London, S.J. Volatile organic compounds and pulmonary function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Environ Health Perspect.* 2006, n°8, pp.1210-4.
- Escalona, E., Yanes, L., Feo, O. & Maizlish, N. Neurobehavioral evaluation of Venezuelan workers exposed to organic solvent mixtures. *Am J Ind Med.* 1995, n°1, pp.15-27.
- Gong, Y. Y., Kishi, R., Katakura, Y., Tsukishima, E., Fujiwara, K., Kasai, S., Satoh, T., Sata, F. & Kawai, T. Relation between colour vision loss and occupational styrene exposure level. *Occup Environ Med.* 2002, n°12, pp.824-9.
- Hempel-Jorgensen, A., Kjaergaard, S. K., Molhave, L. & Hudnell, K.H. Sensory eye irritation in humans exposed to mixtures of volatile organic compounds. *Arch Environ Health.* 1999, n°6, pp.416-24.
- Hooiveld, M., Haveman, W., Roskes, K., Bretveld, R., Burstyn, I. & Roeleveld, N. Adverse reproductive outcomes among male painters with occupational exposure to organic solvents. *Occup Environ Med.* 2006, n°8, pp.538-44.
- Host, S., Camard, J., Franconi, A., Lefranc, A. & Gremy, I. L'évaluation des risques sanitaires : principe et méthode. 2006, 6 p.
- INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Benzène. 2006, 74 p.
- INERISa. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Toluène. 2005, 50 p.
- INERISb. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - o-, m-, p-Xylènes et leurs mélanges. 2005, 73 p.
- INERISc. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Ethylbenzène. 2005, 54 p.
- INERISd. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Formaldéhyde. 2005, 53 p.
- INRS. L'exposition au benzène des mécaniciens et des citernistes. *Documents pour le médecin du travail.* 2000, pp.125-131.
- INRS. Exposition au benzène chez les mécaniciens - Evaluation atmosphérique et surveillance biologique. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail.* 2002, pp.26-36.

INSERM. Ethers de glycol - Quels risques pour la santé ? Expertise collective. Les éditions Inserm. 1999, 348 p.

INSERM. Ethers de glycol - Nouvelles données toxicologiques. Expertise collective. Les éditions Inserm. 2006, 147 p.

Iaurif. L'environnement en Ile-de-France - Mémento 2006. 2007, 200 p.

Jacobson, M. Z. Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States. *Environ Sci Technol.* 2007, n°11, pp.4150-7.

Kilburn, K. H., Seidman, B. C. & Warshaw, R. Neurobehavioral and respiratory symptoms of formaldehyde and xylene exposure in histology technicians. *Arch Environ Health.* 1985, n°4, pp.229-33.

Kishi, R., Tozaki, S. & Gong, Y.Y. Impairment of neurobehavioral function and color vision loss among workers exposed to low concentration of styrene--a review of literatures. *Ind Health.* 2000, n°2, pp.120-6.

Knox, E. G. Childhood cancers and atmospheric carcinogens. *J Epidemiol Community Health.* 2005, n°2, pp.101-5.

Kramps, J. A., Peltenburg, L. T., Kerklaan, P. R., Spijksma, F. T., Valentijn, R. M. & Dijkman, J.H. Measurement of specific IgE antibodies in individuals exposed to formaldehyde. *Clin Exp Allergy.* 1989, n°5, pp.509-14.

Le Calvé, S., Marchand, C., Mirabel, P., Glasser, N., Casset, A., Purohit, A. & De Blay, F. Le formaldéhyde dans l'air intérieur et son rôle dans l'asthme. *Pollution atmosphérique.* 2006, n°191, pp.271-278.

Logman, J. F. S., de Vries, L. E., Hemels, M. E. H., Khattak, S. & Einarson, T.R. Paternal organic solvent exposure and adverse pregnancy outcomes: a meta-analysis. *Am J Ind Med.* 2005, n°1, pp.37-44.

Lomax, R. B., Ridgway, P. & Meldrum, M. Does occupational exposure to organic solvents affect colour discrimination?. *Toxicol Rev.* 2004, n°2, pp.91-121.

Luchetta, L. & Torres, L. Emission des principaux composés organiques volatils biogéniques en France. *Pollution atmosphérique.* 2000, n°167, pp.387-412.

Luderer, U., Bushley, A., Stover, B. D., Bremner, W. J., Faustman, E. M., Takaro, T. K., Checkoway, H. & Brodtkin, C.A. Effects of occupational solvent exposure on reproductive hormone concentrations and fecundability in men. *Am J Ind Med.* 2004, n°6, pp.614-26.

- McMartin, K. I., Chu, M., Kopecky, E., Einarson, T. R. & Koren, G. Pregnancy outcome following maternal organic solvent exposure: a meta-analysis of epidemiologic studies. *Am J Ind Med.* 1998, n°3, pp.288-92.
- Ministère de la Santé et de la Protection sociale. Plan National Santé Environnement 2004-2008. 2004, 92 p.
- Murata, M., Tsujikawa, M. & Kawanishi, S. Oxidative DNA damage by minor metabolites of toluene may lead to carcinogenesis and reproductive dysfunction. *Biochem Biophys Res Commun.* 1999, n°2, pp.478-83.
- Neubert, D., Gericke, C., Hanke, B., Beckmann, G., Baltes, M. M., Kuhl, K. P., Bochert, G. & Hartmann, J. Multicenter field trial on possible health effects of toluene. II. Cross-sectional evaluation of acute low-level exposure. *Toxicology.* 2001, n°2, pp.159-83.
- Ng, T. P., Foo, S. C. & Yoong, T. Menstrual function in workers exposed to toluene. *Br J Ind Med.* 1992, n°11, pp.799-803.
- OQAI. Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. 2001, 174 p.
- OQAI. Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. 2002, 98 p.
- OQAI. Campagne nationale Logements - Etat de la qualité de l'air dans les logements français - Rapport final. 2006, 165 p.
- PPA. Plan de protection de l'atmosphère pour l'Ile-de-France 2005-2010. 2006, 204 p.
- Paramei, G. V., Meyer-Baron, M. & Seeber, A. Impairments of colour vision induced by organic solvents: a meta-analysis study. *Neurotoxicology.* 2004, n°5, pp.803-16.
- Partanen, T. Formaldehyde exposure and respiratory cancer--a meta-analysis of the epidemiologic evidence. *Scand J Work Environ Health.* 1993, n°1, pp.8-15.
- Paxton, M. B., Chinchilli, V. M., Brett, S. M. & Rodricks, J.V. Leukemia risk associated with benzene exposure in the pliofilm cohort. II. Risk estimates. *Risk Anal.* 1994, n°2, pp.155-61.
- Plenge-Bonig, A. & Karmaus, W. Exposure to toluene in the printing industry is associated with subfecundity in women but not in men. *Occup Environ Med.* 1999, n°7, pp.443-8.

Rennix, C. P., Quinn, M. M., Amoroso, P. J., Eisen, E. A. & Wegman, D.H. Risk of breast cancer among enlisted Army women occupationally exposed to volatile organic compounds. *Am J Ind Med.* 2005, n°3, pp.157-67.

Rinsky, R. A., Smith, A. B., Hornung, R., Filloon, T. G., Young, R. J., Okun, A. H. & Landrigan, P.J. Benzene and leukemia. An epidemiologic risk assessment. *N Engl J Med.* 1987, n°17, pp.1044-50.

Roberts, F. P., Lucas, E. G., Marsden, C. D. & Trauer, T. Near-pure xylene causing reversible neuropsychiatric disturbance. *Lancet.* 1988, n°8605, pp.273.

Rumchev, K., Spickett, J., Bulsara, M., Phillips, M. & Stick, S. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax.* 2004, n°9, pp.746-51.

Saillenfait, A. M. & Robert, E. [Occupational exposure to organic solvents and pregnancy. Review of current epidemiologic knowledge]. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2000, n°4, pp.374-88.

Saint-Ouen, M., Camard, J., Host, S. & Gremy, I. Le traitement des déchets ménagers et assimilés en Ile-de-France. 2007, 210 p.

Schnatter, A. R., Armstrong, T. W., Nicolich, M. J., Thompson, F. S., Katz, A. M., Huebner, W. W. & Pearlman, E.D. Lymphohaematopoietic malignancies and quantitative estimates of exposure to benzene in Canadian petroleum distribution workers. *Occup Environ Med.* 1996, n°11, pp.773-81.

Svensson, B. G., Nise, G., Erfurth, E. M., Nilsson, A. & Skerfving, S. Hormone status in occupational toluene exposure. *Am J Ind Med.* 1992, n°1, pp.99-107.

Takahashi, S., Tsuji, K., Fujii, K., Okazaki, F., Takigawa, T., Ohtsuka, A. & Iwatsuki, K. Prospective study of clinical symptoms and skin test reactions in medical students exposed to formaldehyde gas. *J Dermatol.* 2007, n°5, pp.283-9.

Taskinen, H. K., Kyyronen, P., Sallmen, M., Virtanen, S. V., Liukkonen, T. A., Huida, O., Lindbohm, M. L. & Anttila, A. Reduced fertility among female wood workers exposed to formaldehyde. *Am J Ind Med.* 1999, n°1, pp.206-12.

Taskinen, H., Kyyronen, P., Hemminki, K., Hoikkala, M., Lajunen, K. & Lindbohm, M.L. Laboratory work and pregnancy outcome. *J Occup Med.* 1994, n°3, pp.311-9.

Tsai, S. Y., Chen, J. D., Chao, W. Y. & Wang, J.D. Neurobehavioral effects of occupational exposure to low-level organic solvents among Taiwanese workers in paint factories. *Environ Res.* 1997, n°1-2, pp.146-55.

UFIP, UIP, Siplec. Etude sur la concentration de benzène mesurée en limite de propriété des stations-service. 2006, 16 p.

Venn, A. J., Cooper, M., Antoniak, M., Laughlin, C., Britton, J. & Lewis, S.A. Effects of volatile organic compounds, damp, and other environmental exposures in the home on wheezing illness in children. *Thorax.* 2003, n°11, pp.955-60.

Ware, J. H., Spengler, J. D., Neas, L. M., Samet, J. M., Wagner, G. R., Coultas, D., Ozkaynak, H. & Schwab, M. Respiratory and irritant health effects of ambient volatile organic compounds. The Kanawha County Health Study. *Am J Epidemiol.* 1993, n°12, pp.1287-301.

Wennborg, H., Bodin, L., Vainio, H. & Axelsson, G. Solvent use and time to pregnancy among female personnel in biomedical laboratories in Sweden. *Occup Environ Med.* 2001, n°4, pp.225-31.

Wilcosky, T. C., Checkoway, H., Marshall, E. G. & Tyroler, H.A. Cancer mortality and solvent exposures in the rubber industry. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1984, n°12, pp.809-11.

Wolkoff, P., Skov, P., Franck, C. & Petersen, L.N. Eye irritation and environmental factors in the office environment--hypotheses, causes and a physiological model. *Scand J Work Environ Health.* 2003, n°6, pp.411-30.

Wolkoff, P., Wilkins, C. K., Clausen, P. A. & Nielsen, G.D. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air.* 2006, n°1, pp.7-19.

Wong, O. An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. II. Dose response analyses. *Br J Ind Med.* 1987, n°6, pp.382-95.

Yang, X., Zhang, Y. P., Chen, D., Chen, W. G. & Wang, R. Eye irritation caused by formaldehyde as an indoor air pollution--a controlled human exposure experiment. *Biomed Environ Sci.* 2001, n°3, pp.229-36.

Yin, S. N., Hayes, R. B., Linet, M. S., Li, G. L., Dosemeci, M., Travis, L. B., Li, C. Y., Zhang, Z. N., Li, D. G., Chow, W. H., Wacholder, S., Wang, Y. Z., Jiang, Z. L., Dai, T. R., Zhang, W. Y., Chao, X. J., Ye, P. Z., Kou, Q. R., Zhang, X. C., Lin, X. F., Meng, J. F., Ding, C. Y., Zho, J. S. & Blot, W.J. A cohort study of cancer among benzene-exposed workers in China: overall results. *Am J Ind Med.* 1996, n°3, pp.227-35.

Annexes

Annexe 1 : Emissions de COV en France en 2000 par région et selon les secteurs d'activités

Régions	Transformation énergie	Industrie manufacturière	Résidentiel - tertiaire	Agriculture - sylviculture	Transport routier	Autres transports	Sources biotiques	Total	% des émissions en France
Alsace	1 870	23 009	11 145	1 384	14 452	4 374	32 369	88 603	3,01
Aquitaine	4 554	23 752	20 588	8 666	25 781	2 213	118 582	204 136	6,93
Auvergne	854	12 492	11 892	10 057	10 975	81,6	85 965	132 317	4,49
Basse-Normandie	871	10 557	11 547	8 387	12 933	2 031	19 965	66 291	2,25
Bourgogne	1 483	17 732	14 532	10 272	16 994	230	102 866	164 109	5,57
Bretagne	2 429	15 547	17 914	6 760	25 152	9 511	25 740	103 053	3,50
Centre	2 077	23 898	19 364	13 044	23 372	94,2	83 357	165 206	5,61
Champagne-Ardenne	888	13 604	12 346	8 315	12 829	279	53 636	101 897	3,46
Corse	689	318	1 817	3 920	3 664	4 350	9 899	24 657	0,84
Franche-Comté	570	14 793	11 224	4 369	9 914	54,9	71 291	112 216	3,81
Haute-Normandie	18 277	36 499	10 925	4 563	15 698	2 746	18 149	106 857	3,63
Ile-de-France	9 649	53 014	38 440	3 957	81 165	2 790	20 191	209 206	7,1
Languedoc-Roussillon	2 193	13 266	12 397	10 013	23 771	1 187	67 929	130 756	4,44
Limousin	422	8 049	8 081	4 776	6 773	45,9	55 074	83 221	2,82
Lorraine	2 511	21 624	18 163	5 890	19 204	924	78 639	146 955	4,99
Midi-Pyrénées	1 678	19 068	18 681	15 378	20 360	106	110 666	185 937	6,31
Nord-Pas-de-Calais	6 413	34 289	19 453	4 396	27 820	1 887	5 945	100 203	3,40
PACA	20 847	31 407	20 075	8 187	36 664	3 172	91 077	211 429	7,18
Pays de la Loire	7 161	34 292	19 929	10 440	23 756	2 058	28 890	126 526	4,29
Picardie	849	24 016	12 687	9 213	16 706	1 209	17 300	81 980	2,78
Poitou-Charente	1 996	19 735	15 065	9 287	15 667	1 155	32 142	95 047	3,23
Rhône-Alpes	5 158	56 454	31 128	8 195	49 094	911	154 599	305 539	10,4

Source : CITEPA, Inventaire départementalisé, 2005

Annexe 2 : Emissions de COV en Ile-de-France en 2000 selon les secteurs d'activités de la nomenclature SNAP (niveaux 1, 2 et 3)

Secteurs d'activités	Emissions (t/an)
Combustion dans les industries de la transformation et de l'énergie	704
Production d'électricité	51
Chauffage urbain	544
Raffinage du pétrole	102
Transformation des combustibles minéraux solides	2
Mines de charbon - extraction de pétrole	4
Combustion hors industrie	13 434
Commercial et institutionnel	5 006
Résidentiel	4 532
Agriculture – sylviculture – aquaculture	3 896
Combustion dans l'industrie manufacturière	463
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	204
Fours sans contact	78
Procédés énergétiques avec contact	182
Procédés de production	1 837
Procédés de l'industrie pétrolière	805
Procédés de la sidérurgie et des houillères	0
Procédés de l'industrie des métaux non ferreux	0
Procédés de l'industrie de la chimie organique	1 031
Procédés des industries du bois, de la pâte à papier, de l'alimentation...	0
Extraction et distribution de combustibles fossiles (distribution de l'essence)	6 569
Utilisations de solvants	73 276
Application de peintures	20 506
Dégraissage, nettoyage à sec	1 109
Fabrication et mise en œuvre de produits chimiques	9 249
Autres utilisations de solvants	42 413
Transport routier	52 472
Voitures particulières	19 821
<i>Essence non catalysées</i>	16 036
<i>Essence catalysées</i>	1 675
<i>Diesel</i>	2 110
Véhicules utilitaires légers < 3,5 T	2 510
<i>Essence</i>	1 237
<i>Diesel</i>	1 272
Poids lourds > 3,5 T et bus	4 056
Motocyclettes et motos < 50 cm ³	5 759
Motos > 50 cm ³	5 113
Evaporation d'essence des véhicules	15 213
<i>Running losses</i>	1 087
<i>Hot soaks</i>	12 639
<i>Diurnal losses</i>	1 488
Autres sources mobiles et machineries	3 973
Trafic ferroviaire	87
Navigation fluviale	16
Trafic aérien	1 968
Engins spéciaux – agriculture	385
Engins spéciaux – industrie	445
Engins spéciaux – loisirs – jardinage	1 072
Traitement et élimination des déchets	1 742
Incinération des déchets	247
Mise en décharge	1 495
Autres traitements de déchets	0
Agriculture et sylviculture (culture avec engrais)	0

Secteurs d'activités	Emissions (t/an)
Autres sources et puits (sources biogéniques)	24 025
Forêts naturelles de feuillus	20 621
Forêts naturelles de conifères	2 741
Prairies naturelles et autres végétations	664
Total toutes sources	178 495

Source : Airparif, 2000

Annexe 3 : Principaux textes réglementaires concernant les COV

Année	Textes
1994	Directive européenne n°94/63/CEE relative à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service
1996	Directive européenne cadre n°96/62/CE concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant
1996	Loi n°96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
1998	Directive n°98/69/CE relative aux mesures à prendre contre la pollution de l'air par les émissions des véhicules à moteur
1998	Directive n°98/70/CE concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel
1998	Décret n°98-360 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites
1998	Décret n°98-373 portant publication du protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de 1979 relatif à la lutte contre les émissions des composés organiques volatils ou leurs flux transfrontières
1998	Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
1999	Protocole de Göteborg
1999	Directive européenne n°1999/13/CE relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations
2000	Directive européenne n°2000/69/CE concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant
2000	Règlement 2037/2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone
2000	Arrêté du 29 mai 2000 portant modification de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
2001	Directive européenne n°2001/81/CE NEC (National Emission Ceilings) fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques
2001	Décret n°2001-349 relatif à la réduction des émissions de composés organiques volatils liées au ravitaillement des véhicules dans les stations-service
2002	Décret n°2002-213 modifiant le décret n°98-360 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites
2002	Arrêté du 2 mai 2002 portant modification de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
2004	Directive européenne n° 2004/42/CE relative à la réduction des émissions des composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules
2006	Décret n°2006-623 relatif à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouches de véhicules

Annexe 4 : Installations classées soumises à autorisation (arrêté du 2 février 1998 modifié)

	Option 1		Option 2
	VLEc	VLEd	
Cas général (Art 27-7-a)	110 mg/Nm ³ (carbone total)	Fixées par l'arrêté préfectoral	SME possible
Activités visées à l'article 30	Voir art 30	Voir art 30	
Cas particulier des COV à plus forte toxicité	COV de l'annexe III (Art 27-7-b) COV à phrases de risque R45 R46 R49 R60 ou R61 (Art 27-7-c) COV halogénés à phrases de risque R40 (Art 27-7-c)	20 mg/Nm ³ (somme massique) 2 mg/Nm ³ (somme massique) si flux total des composés > 10 g/h 20 mg/Nm ³ (somme massique) si flux total des composés > 100 g/h	Fixées par l'arrêté préfectoral Fixées par l'arrêté préfectoral ou arrêté du 2 fév 1998 (art 30-36) SME possible mais respect systématique des VLE
Cas particulier du traitement thermique (Art 27-7-a)	Si rendement > 98 % 50 mg/Nm ³ (équivalent carbone) si rendement < 98 % 20 mg/Nm ³ (équivalent carbone)	Fixées par l'arrêté préfectoral ou arrêté du 2 fév 1998 (art 30)	SME possible
Plan de gestion de solvant (Art 28-1)	Mise à disposition si la consommation de solvants ≥ 1 tonne/an Transmission annuelle si la consommation de solvants ≥ 30 tonnes/an		

VLEc : valeur limite d'émission en concentration dans les effluents canalisés, exprimée en mg de carbone par m³.

VLEd : valeur limite d'émission dans des émissions diffuses, exprimée en % de la quantité de solvants annuelle utilisée dans l'installation.

SME : Schéma de Maîtrise des Emissions

Annexe 5 : Liste des COV de l'annexe III de l'arrêté du 2 février 1998 modifié

N° CAS	Nom
75-07-0	Acétaldéhyde (aldéhyde acétique)
79-10-7	Acide acrylique
79-11-8	Acide chloroacétique
50-00-0	Aldéhyde formique (formaldéhyde)
107-02-8	Acroléine
96-33-3	Acrylate de méthyle
108-31-6	Anhydride maléique
62-53-3	Aniline
92-52-4	Biphényles
107-20-0	Chloroacétaldéhyde
67-66-3	Chloroforme (trichlorométhane)
74-87-3	Chlorométhane (chlorure de méthyle)
100-44-7	Chlorotoluène (chlorure de benzyle)
1319-77-3	Crésol
584-84-9	2,4-diisocyanate de toluylène
7439-92-1	Dérivés alkylés du plomb
75-09-02	Dichlorométhane (chlorure de méthylène)
95-50-1	1,2-dichlorobenzène (o-dichlorobenzène)
75-35-4	1,1-dichloroéthylène
120-83-2	2,4-dichlorophénol
109-89-7	Diéthylamine
124-40-3	Diméthylamine
123-91-1	1,4-dioxane
75-04-7	Ethylamine
98-01-1	2-furaldéhyde (furfural)
	Méthacrylates
	Mercaptans (thiols)
98-95-3	Nitrobenzène
	Nitrocrésol
100-02-7	Nitrophénol
99-99-0	Nitrotoluène
108-95-2	Phénol
110-86-1	Pyridine
79-34-5	1,1,2,2-tétrachloroéthane
127-18-4	Tétrachloroéthylène (perchloréthylène)
56-23-5	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone)
	Thioéthers
	Thiols
95-53-4	O-toluidine
79-00-5	1,1,2-trichloroéthane
79-01-6	Trichloroéthylène
95-95-4	2,4,5-trichlorophénol
88-06-2	2,4,6-trichlorophénol
121-44-8	Triéthylamine
1300-71-6	Xylénol (sauf 2,4-xylénol)

Annexe 6 : Valeurs guides, valeurs limites et objectifs de qualité

Les principes de base de l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant dans la Communauté européenne ont été précisés en 1996 par la directive européenne n° 96/62/CE. Celle-ci vise à définir des objectifs concernant la qualité de l'air ambiant et des méthodes communes pour l'évaluer. Elle définit notamment la valeur limite, la valeur cible et le seuil d'alerte. Ces définitions ont été retranscrites dans la législation française avec la loi n° 96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996, aujourd'hui incorporée dans le Code de l'Environnement (Livre II Titre II « Air et atmosphère »). Ainsi :

- l'objectif de qualité est le niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée.
- la valeur limite est le niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement.
- le seuil d'alerte est le niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.
- les seuils d'information et de recommandation sont les seuils au-delà desquels la concentration en polluants a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée.

Ces valeurs sont fixées par décret après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, en conformité avec ceux définis par l'Union européenne ou, à défaut, par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Elles sont régulièrement réévaluées pour prendre en compte les résultats des études épidémiologiques.

L'OMS a émis en 2000 des recommandations concernant plusieurs COV : le benzène, le toluène, le xylène, l'éthylbenzène et l'acétaldéhyde. Ces valeurs guides sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles sont exprimées pour une durée d'exposition de 24 heures, d'une semaine, d'une année ou sous forme d'UR Vie. L'UR Vie est le risque additionnel de développer un cancer (dont le type dépend du composé) au cours d'une vie (soit 70 ans), pour une population hypothétiquement exposée continuellement à une concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du composé considéré dans l'air respiré. Par exemple, une personne exposée continuellement à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène tout au long de sa vie aura $1 + 6.10^{-6} = 1,000006$ fois plus de probabilité de développer un cancer qu'une personne non exposée. Des valeurs guides françaises sont en cours d'élaboration par l'Afsset.

Valeurs guides de la qualité de l'air de l'OMS (critères 1999)

Polluants	Durée d'exposition			Risque unitaire (vie entière, pour 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	24 heures	Semaine	Année	
Benzène				$6 \cdot 10^{-6}$
Toluène		260		
Xylène	4800			
Ethylbenzène			22000	
Acétaldéhyde				$1,5 \cdot 10^{-7}$ à $9 \cdot 10^{-7}$

Source : GUIDELINES FOR AIR QUALITY, WHO, Geneva 2000.

Les valeurs sont en $\mu\text{g} / \text{m}^3$.

Des valeurs limites dans l'air ambiant ont été fixées pour certains polluants dont le benzène par la directive européenne n° 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000. L'objectif de cette directive est d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces polluants pour la santé humaine et pour l'environnement dans son ensemble. Cette directive impose aux Etats membres de prendre les mesures nécessaires pour que les concentrations de **benzène** dans l'air ambiant ne dépassent pas la **valeur limite pour la protection de la santé humaine de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle à compter du 1^{er} janvier 2010, avec une diminution progressive des marges de dépassement entre 2005 et 2010. Les marges de dépassement jusqu'en 2010 sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Marges de dépassement des valeurs limites jusqu'en 2010

Année	2001 à 2005	2006	2007	2008	2009
Valeurs limites ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	9	8	7	6

Cette directive européenne a été transposée dans le droit français par le décret n° 2002-213 du 15 février 2002, modifiant ainsi le décret n° 98-360 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. Ce décret fixe également l'**objectif de qualité pour le benzène à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle.

Par ailleurs, pour les COV, il n'existe pas de seuil d'alerte ou d'information.

Annexe 7 : COV mesurés lors de trois campagnes de mesure d'Airparif à proximité de sites industriels du secteur automobile

Famille	COV
Hydrocarbures aromatiques	benzène
	éthylbenzène
	styrène
	toluène
	xylènes (o/m/p)
	1,2,3-triméthylbenzène
	1,2,4-triméthylbenzène
	1,3,5-triméthylbenzène
	alpha-méthylstyrène
Hydrocarbures aliphatiques	n-hexane
	cyclohexane
	n-heptane
	n-octane
	n-nonane
	n-décane
	n-undécane
	n-dodécane
	2-méthylpentane
	3-méthylpentane
Hydrocarbures halogénés	tétrachloroéthylène
	trichloroéthylène
	1,1,1-trichloroéthane
	1,4-dichlorobenzène
Terpènes	alpha-pinène
	limonène
	camphène
	3-carène
Alcool	butanol
	2-éthyl-1-hexanol
Ethers de glycols	1-méthoxy-2-propanol (PGME)
	2-butoxyéthanol (EGBE)
	2-éthoxyéthanol (EGEE)
	2-méthoxyéthanol (EGME)
	2-méthoxyéthylacétate (EGMEA)
	2-(2-butoxy-éthoxy)-éthanol (butyl diglycol)
Esters	éthylacétate
	isobutylacétate
	n-butylacétate
	2-éthoxyéthylacétate
Acides carboxyliques	acide butanoïque
	acide pentanoïque
	acide hexanoïque

Source : Airparif, 2004 et 2006

Annexe 8 : Classification par l'Union européenne des substances chimiques selon leurs effets cancérigènes, toxiques pour la reproduction et le développement et mutagènes

Cancérigènes

Catégorie UE	Définition
1	Substances que l'on sait cancérigènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition et l'apparition d'un cancer.
2	Substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition peut provoquer un cancer.
3	Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).

Toxiques pour la fertilité et le développement

Catégorie UE	Définition
1	Substances connues pour altérer la fertilité ou pour provoquer des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine
2	Substances devant être assimilées à des substances altérant la fertilité ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine
3	Substances préoccupantes pour la fertilité ou en raison d'effets toxiques possibles sur le développement pour l'espèce humaine

Mutagènes

Catégorie UE	Définition
1	Substances que l'on sait être mutagènes pour l'homme
2	Substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme
3	Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes possibles

Glossaire

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
AIRFOBEP	Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région de l'Etang de Berre et de l'Ouest des Bouches-du-Rhône
ARENE	Agence Régionale de l'Energie et de l'Environnement
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
CFC	Chlorofluorocarbures
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composé Organique Volatil
COVNM	Composé Organique Volatil Non Méthanique
CSHPPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
ERU	Excès de Risque Unitaire
GEIC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
GES	Gaz à Effet de Serre
HAM	Hydrocarbure Aromatique Monocyclique
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HCl	Chlorure de d'hydrogène
HFC	Hydrofluorocarbures
IAURIF	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LCPP	Laboratoire Central de la Préfecture de Police
LHVP	Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris
LTO	Landing – Take off
MTBE	Methyl-tert-butyl ether
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x	Oxydes d'azote
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level ou dose sans effet adverse observé
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ORAMIP	Observatoire Régional de l'Air en Midi-Pyrénées
PCOP	Potentiel de Création d'Ozone Photochimique
PFC	Hydrocarbures perfluorés
PME	Petites et moyennes entreprises
PMI	Petites et moyennes entreprises industrielles
PNSE	Plan National Santé Environnement
PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
PRQA	Plan Régional de la Qualité de l'Air
SACO	Substance Appauvrissant la Couche d'Ozone
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollution
SO ₂	Dioxyde de soufre
TGAP	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
UE	Union Européenne
UFIP	Union Française des Industries Pétrolières

US EPA	US Environmental Protection Agency
UV	Ultra-violet
VLE	Valeur Limite d'Emissions
VTR	Valeur Toxicologique de Référence